ENDEAVOUR

Revue trimestrielle destinée à tenir registre du progrès
des sciences au service du genre humain

VOLUME I AVRIL 1942 NUMÉRO 2

L'avenir de la recherche désinteressée

Dans le monde entier l'idéal hellénique de la Science pour la Science se trouve plus menacé qu'il ne l'a jamais été. Dans bien des pays il n'est plus possible de poursuivre cet idéal, ou bien il n'y a plus d'hommes capables de s'y consacrer. Dans d'autres, on considère que ce n'est pas là faire acte de politique réaliste. Là où l'axe fait peser son joug, aucun effort n'a été épargné — et l'on connaît l'efficacité de la brutalité organisée — pour supprimer toute recherche désintéressée: Écoles, Instituts, Universités fermés; leurs étudiants et leurs corps enseignants persécutés, voire même assassinés; livres scientifiques brûlés, journaux scientifiques contraints d'interrompre leur publication, Sociétés scientifiques dissoutes de force. Et pourtant, malgré l'adversité, l'esprit de science n'a pas disparu. Des récits émouvants ont filtré jusqu'à nous de savants chinois poursuivant leurs recherches dans des cavernes obscures, dans des forêts épaisses, dans des montagnes retirées. Et dans toutes les régions du monde réduites en esclavage, ou menacées de l'esclavage, les savants montrent la même résolution tranquille. Nous saluons ces âmes indomptables et nous leur disons: bon courage, car, pour leur sublime ardeur, le jour de la récompense viendra, sans doute possible.

Mais quel est l'état de la science dans les pays alliés et dans les pays de l'axe? Dans les deux camps les savants consacrent la quasi-totalité de leur activité à l'étude de problèmes qui présentent un intérêt immédiat pour l'offensive ou la défensive, pour les transports, la nutrition, la santé publique, ou les mille autres facteurs qui constituent la guerre totale.

Le monde scientifique se trouve donc, par force majeure, au point où l'orientation des travaux est entièrement déterminée par le. conditions sociales. Le moment nous semble opportun pour nous demander si, en fait, une telle orientation n'est pas la meilleure possibles Il ne manque pas de savants britanniques pour répondre à cette question par l'affirmative. Pour eux la connaissance n'a de valeur que dans la mesure où elle peut améliorer la condition humaine, et ils insisteraient volontiers pour que l'on orientât vers l'étude des nécessités immédiates toute la capacité scientifique du pays. Il est évident que l'on ne pourrait réaliser une telle unité de direction sans un contrôle absolu de l'État. Ce contrôle devrait donc être considéré comme un élément fondamental de la politique à venir.

Nul ne songe à nier que la Science trouve sa justification dans le service de l'humanité. Le danger réside en toute tentative éventuelle pour faire passer la science du rang de collaboratrice bénévole à l'état d'esclave enrégimentée. Il est hors de doute que le manque de coordination porte la responsabilité de bien des efforts gâchés, de bien des travaux faits en double; tandis que bien des découvertes importantes ont trouvé leur origine dans l'application délibérée de l'esprit scientifique à l'étude de certains problèmes industriels ou commerciaux. Mais les systèmes sociaux et politiques changent avec une rapidité qui ne laisse pas d'être souvent déconcertante, tandis que l'ensemble dc la science se développe continuellement et avee continuité.

L'idéal auquel il faut viser, dans le développement de la recherche scientifique, ce n'est pas la mécanisation de l'armée des travailleurs de l'esprit, car il est hors de doute que l'on créerait ainsi une épouvantable médiocrité, et

que l'on empêcherait le génie de s'épanouir. Imaginez NEWTON, privé des loisirs qu'il consacrait à la physique et aux mathématiques, et contraint de passer son temps à découvrir de nouvelles méthodes pour l'essai des alliages monétaires; ou FARADAY recevant de GLADSTONE l'ordre de découvrir 'quelque chose d'utile'; ou EINSTEIN chargé de vérifier les tables de logarithmes à sept décimales! Réalisons une coopération plus étroite, échangeons mieux les informations, dirigeons la recherche de façon plus pertinente; mais repoussons résolument les chaînes mortelles de la bureaucratie.

La condition *sine qua non* d'un vigoureux progrès scientifique est de laisser le savant libre de suivre sa pente. Le savant qui accroît la connaissance des phénomènes naturels justifie par là même son existence. Dans la Nature, il n'est pas de fait intrinsèquement inutile. Nul ne saurait dire si une observation triviale en apparence ne prendra pas une grande importance. La bulle d'argon obtenue par CAVENDISH au dix-huitième siècle était un objet d'art chimique. Aujourd'hui l'argon a tant d'emplois qu'il faut l'extraire de l'air en quantités industrielles. Et puis, par bonheur, il y a toujours des hommes qui se penchent sur la nature des choses 'parce que tout savoir et tout émerveillement donnent, par eux-mêmes, une impression de plaisir'.

Correspondance

On est prié d'adresser les manuscrits et la correspondance au rédacteur en chef, E. J. Holmyard, Imperial Chemical Industries, Nobel House, Buckingham Gate, Londres, S.W.1. Nous invitons les chercheurs qui poursuivent des travaux importants ou intéressants à nous envoyer de courtes notes sur les expériences en cours et sur leurs derniers résultats.

DES FACILITÉS POUR LES TRAVAILLEURS SCIENTIFIQUES DE L'INDUSTRIE ET DES SERVICES DE L'ÉTAT

De A. V. Hill, *Secrétaire de la* Royal Society.

Il est essentiel pour le bien de leurs âmes (et de leur travail) que les travailleurs scientifiques employés dans les laboratoires de l'État comme dans ceux de l'industrie, jouissent, en temps normal, de facilités analogues à celles dont jouissent leurs collègues des universités et des instituts de recherches. Ces facilités se rapportent:

a) à des discussions, des conférences, des séances de séminaires, des visites, des réunions de sociétés savantes (c'est-à-dire à l'interpénétration de la vie sociale et de la vie scientifique); —

b) aux voyages et aux échanges (temporaires ou permanents) avec d'autres laboratoires, dans le pays même ou à l'étranger; —

c) à la réception de visiteurs et (si possible) de collaborateurs étrangers; — et

d) à la publication des résultats. Le secret est parfois nécessaire, le mystère ne l'est jamais.

Le travail d'un homme doit être jugé par ses pairs.

Sans des facilités suffisantes cela devient impossible. D'où peut-être désappointement, laisser aller, et, comme conséquence, stérilité.

Pour préparer, après la guerre, une action dans ce sens, ENDEAVOUR pourrait sans doute ouvrir ses colonnes à un inventaire de l'état de choses actuel.

Á PROPOS DE LA COOPÉRATION ENTRE LES UNIVERSITÉS ET LE PERSONNEL TECHNIQUE DES INDUSTRIES

De R. E. Slade.

Dans une lettre publiée ici-même (vol. I, N° 1, p. 7) le PROFESSEUR ANDRADE discute le problème des modalités de la coopération entre la science académique et la recherche industrielle.

Dès l'origine la recherche industrielle s'est basée sur l'état d'esprit et sur les méthodes en vigueur dans les laboratoires des universités. Et,

pour se tenir au courant des nouvelles techniques et des nouveaux points de vue, le laboratoire industriel a besoin d'un afflux continu d'hommes jeunes, sortant des écoles de recherche universitaires. C'est à l'université que l'industrie va chercher une vue plus neuve et plus large de la science.

L'industrie chimique a réalisé une certaine collaboration avec la recherche universitaire. Mais nous avons pleine conscience que l'on peut aller beaucoup plus loin sans courir le risque de transformer le professeur en un chercheur industriel, ce qui irait à l'encontre du but visé. Au début de nos relations avec les savants académiques nous avions pris l'habitude d'envoyer des chimistes travailler avec un professeur pendant un certain temps, qui ne dépassait pas trois ans. Cette pratique donnait au directeur de recherche du laboratoire industriel l'occasion de rendre de temps en temps visite au professeur, et des discussions scientifiques s'engageaient, intéressantes pour les deux interlocuteurs.

Nous demandons souvent à un professeur de permettre à un de nos chercheurs d'étudier dans son laboratoire une question qui nous intéresse et qui se rattache à celles qu'il étudie lui-même. Dans certains de nos laboratoires existent des comités où siègent des professeurs d'université. Dans d'autres laboratoires des professeurs viennent passer une journée à intervalles réguliers. Tout chercheur peut ainsi les aborder et discuter avec eux de sujets variés. Cette dernière méthode, qui semble donner de bons résultats, est très voisine à celle que suggère le professeur Andrade. Mais même dans la seule industrie chimique les diverses branches fonctionnent dans des conditions si différentes les unes des autres que je ne crois pas possible de dire qu'un système donné de collaboration soit le meilleur imaginable.

LA VITESSE DU SON

De Charles Graves.

J'ai pris le plus vif intérêt à entendre nos pilotes discuter des anomalies apparentes de la vitesse du son. Puis-je suggérer qu'un article sur les déterminations modernes de la vitesse de sons de fréquences diverses, dans des circonstances variées, serait le bienvenu dans une des prochaines livraisons de ENDEAVOUR?

PARCS NATIONAUX

De E. B. Worthington, *Directeur de la* Freshwater Biological Association, *Wray Castle, Ambleside.*

La lettre du DOCTEUR JULIAN HUXLEY traitant de ce sujet dans votre premier numéro, soulève des problèmes auxquels je voudrais ajouter quelques remarques. L'établissement de Parcs Nationaux dans l'Empire Britannique a été retardé parce que les administrateurs hésitaient à prendre la responsabilité de fermer de façon permanente de grands espaces au développement humain. La création de ces parcs serait évidemment plus facile si l'on pouvait faire admettre que certaines formes de l'activité humaine, en dehors de la science et de l'enseignement, ne sont pas incompatibles avec les buts essentiels.

Le trafic des touristes apporte les ressources financières les plus évidentes, et il est très satisfaisant de constater, qu'en 1937 le parc national Kruger couvrait pratiquement ses dépenses annuelles par ce moyen. Cependant, à part la question touristique, chaque hectare de terre ou d'eau continue tout naturellement à produire sa moisson annuelle, et à mon avis on peut élever certaines sortes d'animaux et de plantes dans les Parcs Nationaux.

Par exemple, le lac Edward Nyanza est partiellement compris dans le parc national Albert où il est interdit de tuer quelque animal que ce soit, y compris les poissons. Cependant, dans la partie du lac qui appartient à l'Uganda, une pêcherie indigène s'est développée depuis 1935. Elle produisait en 1939 plus de mille tonnes par an de poisson séché et salé. Une telle pêcherie, convenablement contrôlée, ne saurait causer la perte d'espèces uniques peuplant ces eaux, et elle constituerait une source de revenu plutôt qu'une charge si la région venait à être déclarée parc national.

Pour prendre un exemple plus proche, il faut considérer que la transformation du 'Lake District' en parc national ne devrait pas empêcher que l'on pêche dans les lacs, ni que les collines soient utilisées comme pâturages. Au contraire, cela stimulerait le développement scientifique des régions naturelles, bien souvent à l'avantage de la région.

Recherches physiques sur des problèmes de culture du sol

B. A. KEEN

L'article du Dr Keen conteste bien des idées traditionnelles en matière d'agriculture. Il montre entre autres que, contrairement à une tradition profondément ancrée, les rendements de récolte sont remarquablement peu affectés par d'importantes variations dans le travail de la terre, et que la théorie du 'tube capillaire' est incapable, si séduisante qu'elle soit, de rendre compte du mouvement de l'eau dans le sol.

Lorsque le savant a attaqué sérieusement les questions d'agriculture, il s'est trouvé face à face avec des traditions ou totalement vraies, ou partiellement vraies, ou même fausses. A ses débuts la science agronomique s'intéressait principalement à l'étude de ces traditions, séparant le vrai du faux, et les reclassant en langage scientifique. L'agronomie est une science récente; quand bien même que les diverses publications prouvent que dès les débuts de la recherche scientifique on s'est intéressé à l'agriculture, cet intérêt ne s'est manifesté que de temps en temps. Les laboratoires modernes de recherche agronomique, qui emploient des chimistes, des biologistes, des physiciens et même des mathématiciens, ont été créées, à de rares exceptions près, pendant les cinquante années qui viennent de s'écouler. Le physicien s'est joint à l'équipe assez tard. Il est vrai que SCHÜBLER, en Allemagne, travaillait, il y a 100 ans, presque exclusivement sur les propriétés physiques du sol, et que en Grande-Bretagne, SIR HUMPHRY DAVY, dans ses *Elements of Agricultural Chemistry*, rachetait des notions quelque peu désuètes de chimie du sol en insistant sur l'importance du point de vue physique; mais avant même que ces premiers travaux puissent être poursuivis, les brillantes recherches et les expériences agricoles de LAWES et GILBERT à Rothamsted, qui rejetaient les idées répandues avec tant d'insistance par LIEBIG, sur la nutrition des plantes, avaient amené la chimie du sol et la biologie au point où une théorie complète de la fertilité du sol semblait facile à atteindre. La physique du sol fut reléguée à l'arrière plan et y resta jusqu'à la fin du XIXème siècle, puis revint à l'ordre du jour grâce aux Américains, et surtout grâce à HILGARD en Californie et à KING au Wisconsin. Etant données les conditions de climat et de sol en Amérique, le développement extraordinairement rapide des régions arables sur ce continent avait révélé d'urgents problèmes de sol. Hilgard s'occupait surtout d'irrigation et du problèmes des alcalis du sol, et King, qui travaillait sous des régimes de pluie plus abondants mais pourtant insuffisants, a fait d'importantes études pratiques sur les relations entre les opérations de culture et le degré d'humidité du sol. Dans les conditions agronomiques classiques d'Europe il y eut pour la physique du sol un renouveau d'intérêt, dont témoigne la publication, de 1878 à 1898, d'un périodique allemand, dirigé par WOLLNY et entièrement consacré à des articles originaux sur les propriétés physiques des sols et des plantes, et sur la météorologie agricole. A la fin du XIXème siècle la physique du sol était devenue une branche reconnue de la science agronomique. WARINGTON à Rothamsted condensait les connaissances de l'époque dans un excellent petit livre: *The Physical Properties of Soil*. Mais déjà le sujet dépassait son cadre théorique. A cette époque les physiciens compétents devaient non seulement réexaminer de façon critique les directives générales, mais encore y inclure l'étude des propriétés colloïdales communes à tous les éléments finement divisés. En Grande-Bretagne le sujet fut repris à Rothamsted en 1913. On s'est particulièrement attaché aux expériences de plein air et de laboratoire sur les lois qui régissent les

déplacements d'humidité dans le sol et leur relations avec les opérations agricoles et le développement des récoltes. Parallèlement à ce travail on a entrepris des recherches à long terme sur les propriétés physiques et physico-chimiques de l'argile.

Suivre parallèlement le développement des instruments agricoles et la marche des idées sur les propriétés physiques du sol pendant ces derniers siècles, c'est à la fois traiter le sujet que nous nous sommes proposés et se livrer à une étude passionnante en elle-même. Il convient de limiter le sujet aux conditions en Grande-Bretagne: même si la 'haute agriculture' fut créée dans les Flandres, elle ne tarda pas à être adoptée en Grande-Bretagne, et sous la poussée de la Révolution Industrielle nous nous plaçâmes en tête par l'application des inventions mécaniques à l'outillage de la ferme.

Les principales sources de renseignement sur les conditions existantes avant la fin du XVème siècle sont les manuscrits enluminés et les tapisseries. Celles-ci montrent des charrues très rudimentaires, lourdes à tirer et bien incapables de retourner la tranche intacte, comme le fait la charrue d'aujourd'hui (figure 1). Il restait de grosses mottes qu'il fallait briser avec des maillets de bois (figure 2).

En 1523 FITZHERBERT publia le *Boke of Husbandry*, le premier livre en langue anglaise d'agriculture pratique. Nous y apprenons que l'art de la culture du sol était bien établi. Le dessin des charrues variait d'une contrée à autre pour tenter de répondre aux conditions des différentes sortes de terrain, et l'on pouvait régler l'instrument de manière à faire des sillons plus ou moins larges et plus ou moins profonds. Le montage était une opération considérable qui impliquait l'ajustement de coins dans des fentes diverses; quant au montage du soc lui-même, Fitzherbert remarque avec raison: 'Il est difficile de le faire comprendre à un homme par écrit sans qu'il soit témoin de l'opération elle-même pour qu'il en apprenne la pratique'.

Parmi les instructions techniques de Fitzherbert sur l'ajustage et l'emploi des instruments, nous trouvons plusieurs preuves qu'il se formait des idées sur les propriétés physiques du sol. Il reconnaissait que la gelée et les alternances de sécheresse et d'humidité produisaient des émiettements dans des sols lourds disposés en billons. L'une de ses directives pratiques n'est en somme qu'une expérience simple sur la culture du sol: l'une des premières en date. Pour savoir si la terre est bonne pour y semer des pois ou des haricots, le laboureur devra marcher sur la terre labourée, 'et si elle chante ou gémit, si elle fait un bruit quelconque sous tes pieds, c'est qu'elle est trop humide pour y semer: et si elle ne fait aucun bruit, et supporte le poids de tes chevaux, sème alors, pour l'amour de Dieu'.

Au XVIIème siècle le dessin des charrues s'améliore continûment mais lentement, et BLITH, dans son *English Improver Improved* (1652), qui fut abondamment cité jusqu'à la fin du siècle, insiste que le tirage des charrues était trop grand parce que la construction et l'ajustage de l'instrument n'étaient pas assez soignés. Il se rendait parfaitement compte que le point crucial était d'obtenir une courbe lisse et naturelle à la jonction de l'arrière du soc avec le versoir. Sinon la tranche de sillon serait soudainement brisée en cette région où la terre s'accumulerait, augmentant ainsi énormément le tirage.

L'étude scientifique des problèmes du sol n'a fait dès lors aucun progrès jusqu'aux dernière décades du XVIIème siècle. Ainsi MARKHAM, écrivain agronome prolifique, se contentait d'une classification en chambre en 'sols simples et complexes'. Par opposition à ce procédé, qui n'est limité que par l'imagination de ceux qui l'appliquent, il est réconfortant de lire la description de l'expérience de HOUGHTON, publiée dans sa *Collection of Letters for the Improvement of Husbandry and Trade* (1681). Houghton était '*Fellow*' de la *Royal Society*. Le rapport suivant est extrait du *Whole Art of Husbandry* (1706) de MORTIMER:

> Une expérience de Mr Houghton, pour savoir ce qu'il y a de Sable mélangé à une Terre ou Marne, et qui peut servir à éprouver la nature de plusieurs sortes de Terres: Il prit un morceau d'Argile, pareil à celui dont les Brasseurs se servent pour fermer leurs Tonneaux, qui est d'ordinaire une sorte de Pierre à Brique jaunâtre, qui pesait quatre Onces et demi, qu'il fit dissoudre dans l'Eau et versa la pâte dans une autre Bassine jusqu'à ce que tout soit parti, sauf le Sable qui ne colla pas ensemble mais se délia dans l'eau, et quand il fut sec put couler comme dans un Sablier, dont il avait à peu près la

quantité d'une Once, étant de couleur jaune avec quelque chose de brillant, et quelques petites Pierres et autres matières impures étaient avec; et quand l'argile fut déposée, il vida l'eau et laissa le reste à sécher dans un Vase d'Étain, et le tout resta bien ensemble mais avec des craquements partout. Il essaya aussi de la Terre à Foulon, qui laissa un dépôt épais qui, une fois sec, tombait facilement en poudre, mais il ne pouvait pas y découvrir de Sable.

Dans cette simple expérience, Houghton découvrit non seulement un moyen de mesurer la proportion des constituants fins et grossiers de la matière dans ses échantillons, mais observa aussi des différences dans leurs propriétés physiques. Il rapporte aussi quelques idées amusantes sur les relations du sol et son degré d'humidité. Il considérait comme admises des configurations irrégulières des particules du sol: elles étaient 'comme une poire, larges à un bout et petites à l'autre', 'longues avec deux bouts', 'à huit coins, ou de plusieurs autres formes, au moyen desquelles elles ne peuvent s'écouler comme l'eau et l'huile qui sont supposées être rondes'. Donc l'eau, pouvant se diviser infiniment en petites sphères, pénétrait entre les particules du sol à moins que celles-ci ne fussent, par leur forme même, trop serrées les unes contre les autres. Les plus petits globules d'eau pouvant alors seuls pénétrer, la couche serait humectée, sans que l'eau ne s'écoule. Il est clair que Houghton cherchait ici à s'expliquer à lui-même pourquoi des couches d'argile imperméables peuvent cependant être humides.

Le XVIIIème siècle vit des progrès rapides. Le *New Horse-Hoeing Husbandry* de TULL marqua une révolution dans la pratique de l'agriculture, tandis que des améliorations techniques dans le dessin et la construction de la charrue l'amènent approximativement à sa forme d'aujourd'hui. La charrue de Rotherham (figure 3), ainsi nommée d'après l'usine du Yorkshire, n'avait que la moitié du tirage de la charrue ordinaire. Il semble que c'était une variation de la charrue hollandaise et, en fait, on la connaissait en Écosse sous le nom de charrue hollandaise ou brevetée. Le versoir était fait en bois recouvert d'une plaque de fer. Il est très probable que la forme du versoir dérivait de principes géométriques très simples, et que ceux-ci faisaient partie des secrets de fabrication. Quel que soit l'exactitude de cette supposition, vers la fin du siècle la forme géométrique du versoir était dans le domaine public. JAMES SMALL d'Édimbourg, un 'Faiseur de Charrues et de Charrettes', et THOMAS JEFFERSON, cet homme étonnant, auteur de la Déclaration d'Indépendance et troisième Président des États-Unis, arrivèrent tous deux indépendamment à la solution.

Small fit de nombreuses expériences ingénieuses, mesurant le tirage de la charrue à l'aide du peson à ressort, et construisant son versoir en bois tendre, pour voir du premier coup les endroits où l'usage provoque un frottement excessif. Il partit du principe que la forme idéale qui assurerait un bon rendement et un tirage minimum, serait à coup sûr celle qui supporterait des forces de frottement également réparties sur toute sa surface. Il trouvait que cette surface, se retournant légèrement et régulièrement, pouvait être établie par une construction géométrique simple, et dans son traité *Treatise on Plough and Wheel Carriages*, publié en 1784, il donnait la méthode en détail.

La façon dont Jefferson résolut le problème dépeint typiquement l'homme. Dans son *Journal*, il y a un commentaire, daté de 1788, sur les charrues grossières qu'il vit en Allemagne; à la suite de ce passage il exprime son opinion sur les principes corrects du dessin des versoirs, avec une méthode géométrique pour les construire.

Il y a plusieurs variantes de ces modèles qui sont basées sur le principe suivant; la tranche de sillon est simultanément soulevée, transportée de côté en bloc, et retournée. Selon la méthode de Small, la motte devait être soulevée et transportée de côté une même distance pour chaque unité d'avancement de la charrue, tout en faisant des retournements égaux, si bien qu'en arrivant à la partie arrière du versoir la surface inférieure de la motte aurait tourné de 130°, en faisant ainsi un angle de 50° avec l'horizontale. Le principe de la construction est le suivant: on marque 130 divisions égales sur un morceau de bois de longueur convenable, en suite le bois sera coupé, à partir de l'avant, de manière à ce que l'angle fait par la coupure et la partie inférieure soit égal en chaque point au nombre marqué sur l'échelle. Les angles de la tranche étaient arrondis, et on posait sur le modèle de bois une plaque de fer qui formait véritablement le versoir.

FIGURE 1 – *Une charrue médiévale.* (*Psaultier Luttrell, XIVe siècle.*)

FIGURE 2 – *Mailletage.* (*Psaultier Luttrell, XIVe siècle.*)

Reproduit par le bienfait de la British Museum

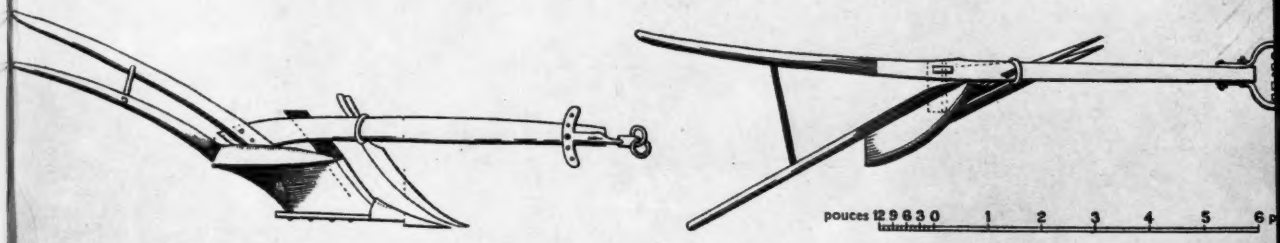


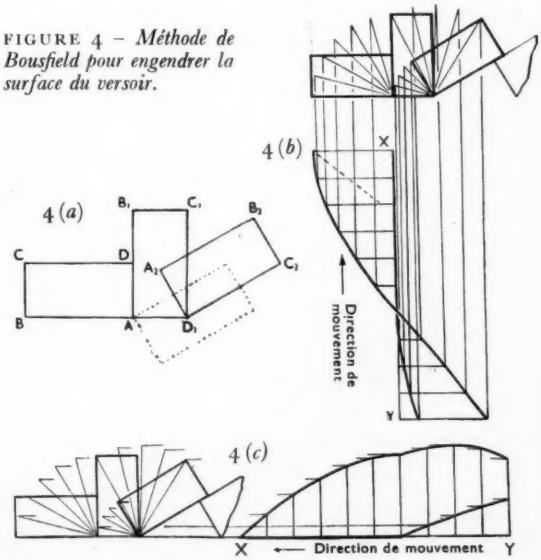
FIGURE 3 – *La charrue de Rotherham.*

On publia peu d'informations nouvelles sur la charrue après l'ouvrage de Small. On produisit au XIXème siècle une variété innombrable de modèles de versoirs, qui se répétaient plus ou moins. En fait, tous ces modèles reviennent à peu près à la forme fondamentale qui — comme le montra BOUSFIELD en 1880 — peut être engendrée par la projection des positions successives de la tranche de sillon elle-même. Dans la figure 4 (*a*) la section droite de la tranche de sillon est représentée pour les trois positions: primitive, verticale et finale. Elle tourne d'abord de 90° autour du point A, et ensuite autour du point D_1. Les figures 4 (*b*) et 4 (*c*) représentent respectivement le plan engendré et la vue de profil du versoir. L'angle total dont la tranche est tournée est subdivisé en un certain nombre de parties égales (10 petits angles de 15° sur cette image). La longueur XY du versoir est divisée en un même nombre de parties égales, d'où l'on élève des perpendiculaires. Le contour du versoir est donné par l'intersection de ces perpendiculaires avec les droites correspondantes, parallèles à XY, tracées à partir de 10 positions successives de la ligne génératrice.

Le versoir n'est en forme d'hélice droite que pour les premiers 90° de la rotation autour du point A dans la figure 4 (*a*); autrement la tranche arriverait finalement à la position en pointillé. Dès la position verticale de la tranche, la torsion s'accompagne en fait d'une translation qui amène la tranche de la position indiquée en pointillé à la position $A_2B_2C_2D_1$, de sorte que la portion arrière du versoir prend la forme d'un hélicoïde.

Cette forme de base représente assez bien la charrue moderne employée en Grande-Bretagne. La construction géométrique implique toutefois l'hypothèse qu'une section verticale de la tranche se meut dans son plan original, ou que

FIGURE 4 – *Méthode de Bousfield pour engendrer la surface du versoir.*



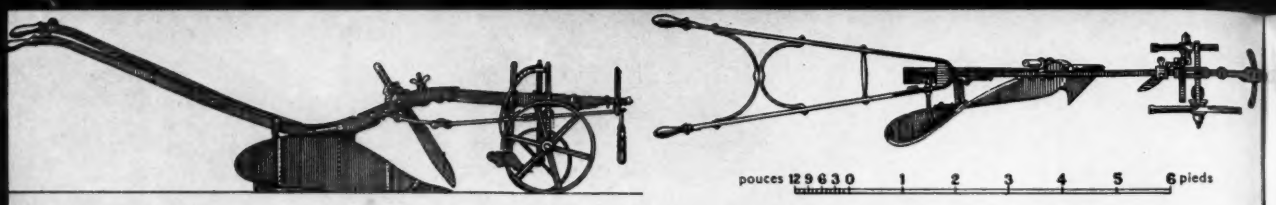


FIGURE 5 – *La charrue moderne.*

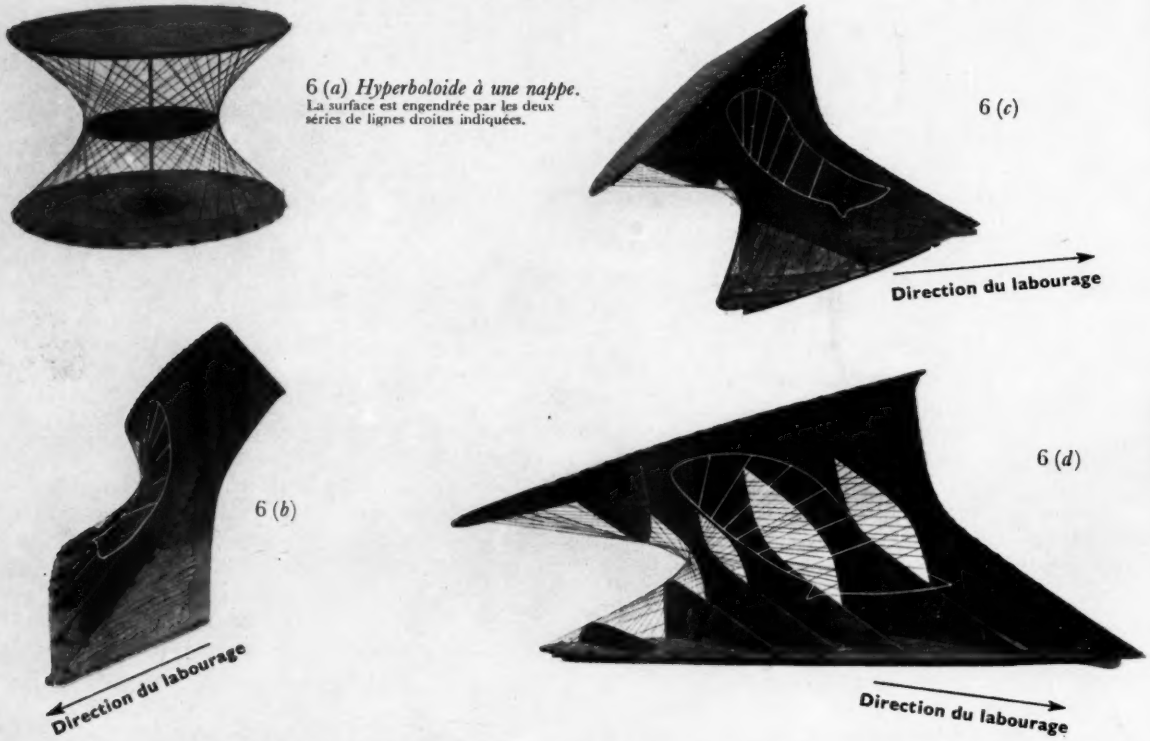


FIGURE 6 – *Modèles illustrant l'analyse de White d'un versoir américain.*

le sol se laisse fendre comme un paquet de cartes. Cependant, des travaux américains postérieurs montrent que ces plans imaginaires tournent à mesure que le versoir progresse sous eux. Ceci mis à part, la forme a dû subir certaines modifications d'ordre pratique. Le coupant du soc est délimité par la ligne pointillée (figure 4 (*b*)); cette ligne se trouve nécessairement au-dessous de la surface en hélice, de sorte que la courbure est modifiée pour se raccorder au soc de façon continue. D'après la figure 4 le versoir doit avoir sur toute sa longueur la même largeur que la tranche du sillon; ceci n'est pas nécessaire, car la tranche possède une certaine cohésion, par conséquent la largeur du versoir peut être réduite, ce qui économise du métal et améliore le contour. Tant qu'elle se trouve sur la portion en hélice du versoir, la tranche a tendance à être portée latéralement au lieu de tourner autour du point A; cet effet peut être diminué si la ligne génératrice est convexe vers le bas de la tranche au lieu d'être droite. Pour que la tranche de sillon soit bien placée, l'arrière du versoir est généralement un peu plus tordu.

Pour voir combien la construction géométrique de Bousfield est proche de la charrue moderne, il suffit de comparer les figures 4 et 5. Ce type de versoir, qui est fait pour retourner la tranche de terre en la laissant plus ou moins intacte, est surtout utilisé dans les pays où l'hiver est relativement doux. La gelée et l'alternance de périodes humides et sèches produisent une désintégration progressive des sillons, de sorte qu'au printemps on peut facilement les transformer en couches de semis.

Sur le continent, là où la terre gèle jusqu'à une profondeur considérable, on laboure rarement en automne. C'est pourquoi il est important de pouvoir effectuer très vite le labourage au printemps. Les charrues sont très incurvées, de sorte que la tranche de sillon est en partie rompue par son passage sur le versoir. Les types les plus répandus aux Etats-Unis ont été étudiés par WHITE, qui trouva qu'ils correspondent à une partie de la surface d'un hyperboloïde à une nappe, dont l'équation, en prenant le centre de la figure comme origine, est $x^2/a^2 + y^2/b^2 - z^2/c^2 = 1$. C'est une surface en forme de vase (figure 6 (*a*)), dont la configuration dépend des valeurs données aux constantes *a*, *b*, et *c*. Une propriété de cette figure est que deux faisceaux de droites appartiennent complètement à la surface courbe. En explorant la surface du versoir avec une règle, White réussit à reconnaître les deux faisceaux de droites et, grâce à des calculs ennuyeux mais simples, il put en dériver l'équation de l'hyperboloïde dont le versoir forme une partie. Un modèle de la portion intéressante de la surface, construit d'après l'équation de White, se trouve sur les figures 6 (*b*), 6 (*c*) et 6 (*d*). Le tracé de la charrue et celui des deux séries de génératrices ont été construits en gros fil de fer peint en blanc, pour qu'on puisse voir clairement la surface hyperboloïde.

Bien que l'analyse de White donne une solution géométrique approchée pour la forme du modèle de charrue concave du type 'arrachoir', elle ne donne pas de directives pour le problème inverse de synthèse. Dans ce but on devrait pouvoir prédire des valeurs des constantes, *a*, *b* et *c* qui correspondent le mieux à la charrue qui satisferait à une série d'exigences pratiques, et bien spécifier — en donnant l'équation du contour du versoir — où le versoir se placerait sur l'hyperboloïde. L'autre point, qui jette quelque doute sur l'usage pratique de l'analyse ci-dessus, est que les deux groupes de lignes droites, qui définissent la surface du versoir, n'ont pas de relation claire avec le trajectoire des particules du sol en passant la charrue: et l'équation de ces trajectoires doit évidemment être en relation essentielle avec la forme du versoir et avec son efficacité. White reconnaîssait ce dernier point et fit à ce sujet des études pratiques, tandis que NICHOLS et ses associés, en Alabama, ont fait des recherches étendues sur l'influence de la forme du versoir sur le déplacement de la motte. Ils arrivèrent à une formule générale différente de celle de White, car toutes leurs charrues pouvaient être complètement engendrées par des arcs de cercle se déplaçant le long de la ligne de marche du bout de l'aile, en tournant, soit autour, soit directement au-dessus de cette ligne.

Ce désaccord dans les formules n'est pas surprenant. Une petite portion d'arc, de courbure modérée, peut être représentée avec une bonne approximation par une exponentielle ou n'importe quelle section conique, même si sa véritable équation n'est aucune de celles-là. On ne peut donc pas dire que ceux qui font des recherches aient découvert une équation généralisée pour la forme du versoir: équation qui, par des changements directs et prévisibles dans les valeurs numériques des paramètres, embrasserait toutes les formes du versoir que necessitent les divers aspects du travail.

De plus, les caractéristiques du sol lui-même doivent entrer dans l'équation, explicitement ou implicitement, car la réaction de la tranche de sillon à la courbure du versoir et à la vitesse de labourage doit dépendre de la plasticité du sol, de sa cohésion, du degré d'humidité, de l'argile qu'il contient, etc. ... Nichols a été le premier à essayer de faire intervenir ces facteurs, mais de sérieuses difficultés résultent de la nature complexe du sol, aussi bien dans la définition que dans la mesure de propriétés aussi générales que la plasticité ou la cohésion. Une autre complication vient de ce que, dans la culture du sol, nous avons affaire à des sols peu humides ou tout au plus modérément humides, tandis que les propriétés plastiques au sens classique du terme n'apparaîssent que pour des degrés d'humidité plus élevés, quand le mélange a atteint l'état pâteux ou houeux. SCOTT BLAIR et SCHOFIELD ont fait à Rothamsted de longs travaux sur les pâtes d'argile et de terre, parce que ceux-ci fournissaient des renseignements sur les propriétés physiques et physico-chimiques de la surface des particules argileuses. Discuter ces travaux ici dépasserait la portée de cet article. Cependant, il faut noter que leurs résultats et leurs méthodes ont déjà eu des applications techniques importantes dans des branches aussi variées que la céramique, le forage des puits de pétrole, les plastiques

synthétiques et les préparations de la pâte de farine, du beurre, du fromage, et de la pâte dentifrice.

Ce travail de Scott Blair et de Schofield fait partie d'un vaste programme de recherches sur la physique du sol. Les généralisations qui se sont développées, sont souvent basées sur des procédés expérimentaux simples, dont les résultats semblent donner un groupement qualitatif, mais plausible, de divers sols en classes. On sentait le besoin d'une classification de ce genre, mais il s'exprimait par l'apparition de nombreuses 'constantes' et de 'points d'équilibre' du sol, la plupart étaient empiriques, certains étaient faux, d'autres ne contenaient non pas un seul facteur mais une série de facteurs, d'autres encore dépendaient du jugement personnel de l'expérimentateur. Une partie de la tâche du physicien moderne consiste à explorer ce fatras et à rejeter, changer ou remplacer.

Les soi-disantes constantes du sol et les points d'équilibre peuvent se ranger en deux catégories. Dans la première classe, le sol et l'eau forment une pâte, et la propriété cherchée est mesurée sur l'échantillon: par exemple, la force de rupture du bloc séché, le rétrécissement en volume du bloc par séchage, l'humidité minima à laquelle l'échantillon peut être passé au rouleau sans craquer, le degré d'humidité auquel il devient collant, ou celui où la pâte commence à couler si on la verse.

Dans le second groupe, on utilise le sol dans les conditions naturelles du champ, ou dans un état analogue de tassement, son espace poreux est alors de 25–50 pour cent., suivant le type de sol. Ce groupe de mesures essaye de spécifier le comportement du sol par une série de contenus d'humidité correspondants à des conditions environnantes données. Il est inutile de donner le détail des nombreuses mesures que l'on peut faire ou que l'on a fait; le tableau de la figure 7 montre certaines d'entre elles, très typiques, et donne une idée générale de leur nature.

Dans le premier quart du XXème siècle, l'étude de ces 'constantes' du sol, et la découverte de certaines relations simples, fascina l'imagination de bien des chercheurs. Il y avait pourtant là un certain danger, spécialement pour ceux qui ne voyaient pas que la facilité avec laquelle on pouvait faire une certaine expérience, ou même reproduire les résultats numériques, n'était pas une garantie

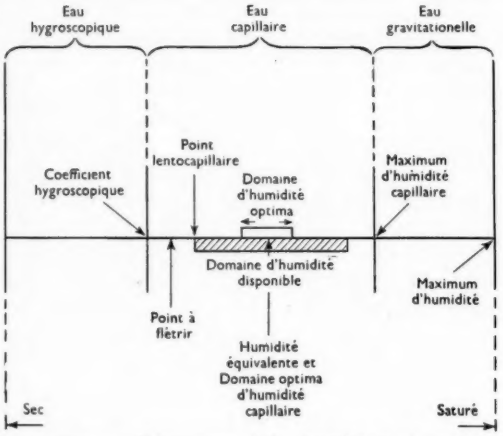


FIGURE 7 – *Diagramme de la distribution de quelques constantes types de la teneur en eau du sol.*

que le résultat exprimât une propriété physique réelle et simple. En outre, le fait qu'il existe entre deux ou plusieurs constantes, dites indépendantes, des relations simples, ne prouve pas que ces constantes soient susceptibles d'une interprétation physique simple. L'objection principale aux généralisations imprudentes touchant ces constantes et leurs relations est qu'elles mènent inévitablement à des tableaux de classification du genre représenté à la figure 7, pour l'humidité du sol. En apparence ce tableau est d'accord avec les résultats obtenus sur place au sujet de l'humidité du sol, mais il ne sert à rien pour faire progresser la théorie fondamentale de l'humidité des terrains. La difficulté provient en partie du fait que les expérimentateurs adoptèrent, sans la critiquer sérieusement, l'ancienne théorie de leurs prédécesseurs sur les mouvements d'humidité dans le sol, basée sur l'hypothèse des 'tubes capillaires'. La théorie était simple et attrayante, et on n'avait pas besoin d'être un physicien de métier pour la comprendre. Le sol est poreux, donc l'espace poreux peut être considéré sans doute comme un faisceau de tubes capillaires dans lesquels l'eau se répandrait selon les principes simples de la tension superficielle et de la capillarité. On admettait que la section droite des tubes devait être irrégulière, mais il était commode de supposer que ceci ne pouvait produire que des écarts minimes.

La caractéristique essentielle de la capillarité c'est que l'eau montera d'autant plus haut dans

le tube que celui-ci sera plus étroit. On expliquait donc d'un seul coup la différence observée entre les terrains enclins à la sécheresse, à texture grossière ou sablonneux, d'une part, et ceux qui résistent à la sécheresse, à texture fine ou argileux, d'autre part. Dans ces derniers, les tubes capillaires sont bien plus étroits; ils peuvent faire monter l'eau de la nappe souterraine à partir d'une profondeur plus grande qu'il ne serait possible dans des terrains sablonneux. La croyance traditionnelle selon laquelle le binage conserve l'humidité du sol s'explique aussi facilement: le binage détruit les fins capillaires sur quelques centimètres à leur partie supérieure et produit une sorte de terreau lâche aux pores larges, dans lesquels l'eau ne peut s'élever, et ne se perd donc pas par évaporation. L'opération agricole qui consiste à rouler les jeunes pousses peut aussi s'expliquer simplement: le rouleau, en comprimant les couches supérieures du terrain autour des jeunes racines, produisait d'étroits capillaires qui tiraient de l'eau des tubes inférieurs plus larges et en faisait bénéficier la plante. Il ne restait qu'à attribuer une valeur numérique à la hauteur utile maxima de poussée capillaire dans chaque type de terrain, et la démonstration pratique de la théorie eût été complète. Cependant, les expériences de laboratoires et celles faites sur place n'ont montré des poussées que de 60 ou 90 cm., au lieu des prédictions optimistes de 3 m., 9 m. ou d'avantage—et pourtant la théorie possédait encore une vie enchantée.

On trouve dans un article américain par BRIGGS, *The Dynamics of Soil Moisture*, qui remonte à 1897, la première allusion à ces défaillances. Mais en exposant sa thèse il passa sous silence un point en apparence peu important, et HAINES à Rothamsted a reconnu trente ans plus tard que la clé du problème réside précisément en ce point. En 1917 VERSLUYS en Hollande reprit le sujet sur des données correctes, mais exprimées de façon obscure. Plus tard, à Rothamsted, Haines, et puis Schofield, dégagèrent la théorie correcte des mouvements d'humidité du sol et la confirmèrent par l'expérience. Haines montra que l'espace poreux dans le sol était essentiellement de nature cellulaire et consistait en des vides relativement spacieux, communiquant entre eux par des canaux relativement étroits. L'humidité se distribue en membranes courbes à l'intérieur de ces cellules et de ces canaux suivant le principe physique qu'elle tend à réduire au minimum sa surface libre, c'est-à-dire son énergie superficielle. La pression est moindre sous un ménisque d'eau qu'au dehors, et plus la courbure est grande, plus la différence de pression est grande. La dépression est donc une force de succion qui contrôle le remplissage et le vidage des cellules.

On peut examiner dans un cas simple la manière dont se produisent le remplissage et le vidage. Supposons qu'une cellule et ses canaux soient pleins d'eau et que l'évaporation se produise à l'entrée de l'un de ses canaux. Le niveau de l'eau dans ce canal va se retirer peu à peu, jusqu'à ce que le ménisque atteigne la section la plus étroite du canal. Ici l'équilibre devient instable, parce que tout retrait du ménisque l'entraîne dans une section de diamètre plus large où la dépression necessaire à l'équilibre serait en fait inférieure à celle qui existe réellement. C'est pourquoi l'expansion dans la cellule prend place brusquement, ou en d'autres termes, l'air pénètre brusquement dans la cellule et une certaine quantité d'eau est déplacée vers de nouvelles positions.

De la même manière, si le degré d'humidité augmente depuis la sécheresse jusqu'à la saturation, dès que l'épaisseur et la courbure de la pellicule d'eau couvrant la cellule et les canaux atteint une certaine valeur, on se trouve en régime instable. Les pellicules dans un ou plusieurs canaux se ferment brusquement, la stabilité de la bulle d'air dans la cellule est compromise et le cellule se remplit d'eau. Une des caractéristiques importantes des variations d'humidité réside dans le déplacement d'eau, pour ainsi dire 'quantifié', dû au remplissage et au vidage des cellules. Mais il y a une autre conséquence importante de la théorie: l'ouverture et le retrait d'un canal (et le remplissage et le vidage d'une cellule) ne se produisent pas pour une même valeur de la dépression. Il n'y a pas de relation univoque entre la dépression et le degré d'humidité. Le rapport entre les deux présente une boucle d'hystérésis marquée. Par conséquent des régions de forte ou de faible humidité peuvent coexister en équilibre. Haines a démontré que ceci est vrai, par des expériences simples et ingénieuses. La figure 8 montre les cycles d'hystérésis obtenus pour un amas de

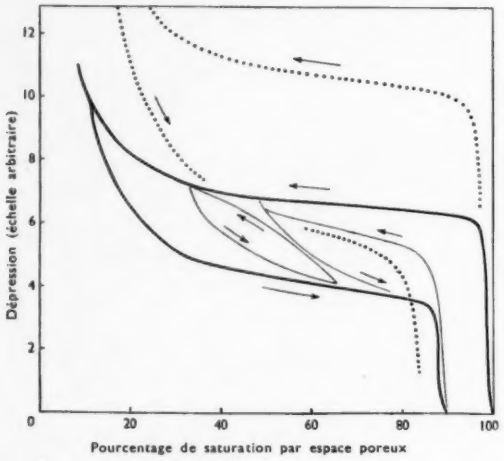


FIGURE 8 – *Courbes de Haines basées sur les valeurs de succion, indiquant le degré d'humidité. (Courbe en trait plein: sphérules de verre; courbe pointillée: sable.)*

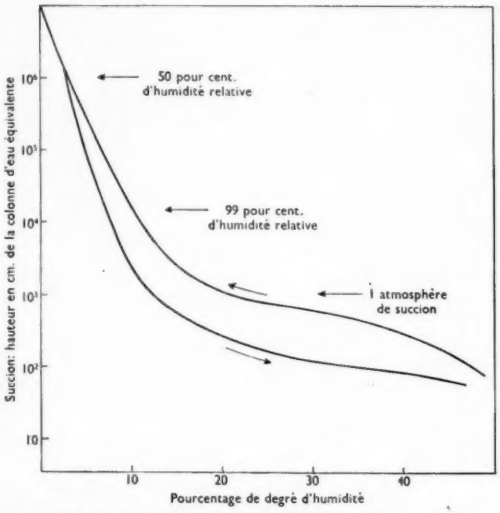


FIGURE 9 – *Courbes de Schofield basées sur les relations énergétiques. (Sol: marne.)*

minuscules sphères de verre et pour du sable. La courbe de dessèchement se trouve entièrement au-dessus de la courbe d'humidification. Par conséquent, la quantité d'humidité en équilibre avec une certaine dépression est plus élevée quand le sol est en voie de dessèchement que quand il est en voie de mouillage.

La façon dont Haines traite le problème s'applique spécialement aux terrains sablonneux à texture grossière. Les travaux plus récents de Schofield ont donné naissance à une théorie physique plus générale basée sur des rapports d'énergie. Cette façon de traiter le problème présente un grand avantage: elle peut s'appliquer à tous les terrains et est valable quel que soit le méchanisme en action. Schofield exprime les différences dans les forces de succion comme des différences d'énergie libre, qui peuvent être définies par la hauteur en centimètres de la colonne d'eau nécessaire pour produire la succion en question. On emploie une échelle logarithmique à cause de l'étendue des variations de ce facteur. Ainsi, quand le sol humide est en équilibre avec une atmosphère de 50 pour cent d'humidité relative (sol 'sec d'air'), la colonne d'eau équivalente mesurerait environ 10 km. de hauteur, c'est-à-dire elle serait plus élevée que le Mont Everest. Schofield put obtenir des courbes semblables à la courbe type de la figure 9 en mouillant et en séchant des sols contre la succion, et en faisant usage des tensions de vapeur et des dépressions du point de congélation pour divers degrés d'humidité.

Une importante conséquence pratique de l'hystérésis est que l'eau du sol tend à résister aux changements, que ceux-ci soient en direction de degré d'humidité croissant ou décroissant. Au lieu de se mouvoir à travers les pores des régions de degré d'humidité élevé vers celles de degré plus bas, l'eau s'adaptera au gradient de succion, principalement par une modification des configurations et des courbures des membranes d'eau. Ce fait conditionne évidemment toute la question du ravitaillement en eau des racines. La théorie capillaire nous apprend que l'assèchement, dû au fait que les racines s'imbibent d'eau, est compensé par un mouvement d'eau venant des régions plus humides, c'est-à-dire que l'eau est amenée jusqu'aux racines des plantes. Cependant la théorie correcte est précisément l'opposée: les racines des plantes doivent se ramifier à l'extrême à travers le sol à la recherche d'humidité. Nous pouvons maintenant voir sous leur vrai jour les effets du binage et du roulage. L'action du roulage est principalement une action purement mécanique: elle consiste à comprimer la terre lâche mais humide tout contre les racines de la jeune plante, pour

qu'elle puisse en extraire plus facilement l'humidité. Pour qu'un mouvement d'eau correspondant aux prévisions de la théorie capillaire puisse se produire, le sol devrait être si humide qu'aucun fermier ne penserait à entreprendre une opération dont les résultats seraient presque certainement désastreux.

Tandis que pour le binage, il ne peut y avoir de mouvement d'eau ascendant, excepté lorsque le niveau hydrostatique, dans un terrain situé à basse altitude, est très près de la surface, et même alors la vitesse d'ascension est minime. Dans ce cas, comme dans le cas beaucoup plus courant où le niveau hydrostatique est bien au-dessous de la surface, la tendance générale de l'eau à s'opposer aux variations de conditions, signifie en fait qu'elle s'évapore *in situ;* la couche superficielle desséchée s'approfondit progressivement. La plupart des sols forment spontanément leur terreau, et l'usage de la houe pour produire le terreau est en somme superflu au point de vue de la conservation directe de l'eau, excepté pour les terrains qui ont tendance à produire une couche dure ou croûte en séchant. Dans des cas de ce genre, la houe brise la croûte en formation et sauve ainsi les jeunes racines. Naturellement, du fait qu'elle détruit les mauvaises herbes, la houe libère l'humidité qu'elles auraient prises, et ainsi par voie indirecte l'opération économise l'eau.

La théorie correcte qui régit les rapports d'humidité dans le sol, telle qu'elle est décrite ci-dessus, nous permet de nous représenter clairement ce que devient la pluie lorsqu'elle a atteint le sol. Le terrain se présente en général à l'état granuleux, c'est-à-dire qu'il est formé de particules complexes. Le grain est un aggrégat de particules de terre, et spécialement des plus fines — la fraction dite argileuse, — qui montrent précisément cette tendance à l'agglomération de façon très marquée. Le grain lui-même est perméable, grâce à des pores minuscules, beaucoup plus petits que les espaces poreux intergranulaires. Si le sol est assez sec et qu'il pleut, la pluie entre dans les pores minuscules des grains de la couche supérieure. L'excès de pluie descend à travers les espaces poreux inter-granulaires, en forme de cellules, et, tour à tour, chaque couche de grain prélève sa part. Suivant la quantité de pluie et l'humidité initiale du terrain, on se

FIGURE 10 – *Profondeur atteinte par la racine de betterave.* (*Le ruban métrique mesure* 1,50 *m.*)

trouvera entre les deux cas extrêmes suivants: la pluie sera entièrement retenue dans les couches supérieures du terrain — ce qui arrive souvent pour les averses d'été — ou bien elle va déplacer l'eau déjà contenue dans le sol qui filtrera jusqu'à ce qu'elle rencontre la nappe hydrostatique inférieure — c'est ce qui arrive généralement en hiver, quand les espaces poreux sont pratiquement saturés. Chaque grain de terre peut être comparé à un minuscule réservoir d'eau qui est activement pompé, ainsi que l'eau résiduelle formant membrane dans les plus grands espaces intergranulaires, par les radicelles explorantes appartenant au système ramifié des racines végétales. Celles-ci couvrent si complètement leur domaine de croissance que les ramifications des racines ne se trouvent jamais éloignées d'une source d'humidité. Ce système radiculaire se prolonge beaucoup plus profondément qu'on ne le croit en général, du fait que très peu de sous-sols sont assez denses pour s'opposer complètement au passage des racines et de l'humidité. Les études faites sur les racines en Amérique, et à une

moins grande échelle ailleurs, montrent que les racines des espèces cultivées atteignent couramment une profondeur de l'ordre de 1–2 m. On voit (figure 10) un exemple typique de racine de betterave dans un sol léger, correspondant à la formation des *Lower Greensands*. La profondeur de l'excavation était de 1,50 m. et à cette profondeur la racine principale, qu'on voit sur la photographie, avait encore environ 2 mm. de diamètre et se prolongeait certainement encore au moins sur 30 cm. La quantité d'eau que la zone de terre traversée par les racines de la plante pouvait contenir est considérable. A 1,50 m. de profondeur, le terrain retient au moins 17,5 cm. de pluie, ce qui, avec la pluie d'été, est amplement suffisant pour les besoins en transpiration d'une bonne pousse.

La science moderne montre donc que les opérations de culture n'ont qu'une influence secondaire sur le régime d'humidité du sol et, par conséquent, la plupart des croyances traditionelles doivent être abandonnées ou revues. Quand on examine attentivement ces traditions, on s'aperçoit que, si elles comprennent les trois facteurs: culture, humidité et croissance végétale, la plupart sont court-circuités pour donner une relation directe entre la culture et la croissance de la plante. Il n'est pas exagéré de dire que la plupart des fermiers sont persuadés que leurs moissons seront diminuées dans la mesure exacte où leur culture s'éloignera de la perfection. Cette croyance était instinctive. L'art de la culture était bien établi longtemps avant toute science agricole, et, dans la pratique, on pensait naturellement que les opérations de culture étaient si évidemment essentielles qu'elles n'étaient pas sujettes à expériences. Dans les pays anciens, d'innombrables expériences ont été faites sur le terrain au sujet d'engrais artificiels, et le nombre de ces essais croît encore, mais on ne faisait jamais les expériences sur la culture même; pourtant, le prix des travaux de culture est dans le budget du fermier le chapitre le plus lourd et excède de beaucoup le prix des engrais chimiques. Dans les pays où le développement agricole a été plus tardif, on a fait des expériences de culture, notamment, et sur grande échelle, dans la région des grandes plaines d'Amérique, mais ici on n'a pas tenu compte de ces résultats pour la raison, juste en apparence, qu'ayant été faites dans une région de faibles chutes de pluie, elles tendaient vers des conclusions qu'il était impossible d'appliquer à nos propres conditions.

Telle était la position il y a une douzaine d'années, quand on a commencé, à Rothamsted, des expériences de culture. Lentement mais sûrement — d'autant plus sûrement que c'était contre leurs idées préconçues — les chercheurs furent amenés à la conclusion que le rendement des moissons était étonnamment insensible aux variations de culture. Toutes les expériences forment des essais très complets: aucune ne peut être rejetée sous prétexte qu'elle ne s'appliquerait pas aux conditions de la culture pratique. Divers procédés de culture ont été essayés sur différentes graines et en différentes saisons, et le travail continue. Les résultats principaux sont brièvement résumés dans le paragraphe suivant.

Les fermiers dont les terres sont grasses ont recours à la 'fertilisation', mais sur la terre de Rothamsted, qui possède un sous-sol d'argile grasse, cette opération n'à eu aucun effet sur les betteraves à sucre. La préparation normale pour les plantes à racines nutritives comprend un labourage d'automne et un labourage de printemps, et dans le cas où le mauvais temps empêche qu'on ne laboure en automne, une certaine appréhension se fait sentir au sujet de la qualité de la couche de semis printanière; des expériences faites sur les pommes de terre et la betterave ont montré que l'augmentation du rendement dûe au double labourage était insignifiante, et qu'elle n'était de loin pas compensée par le prix du travail supplémentaire. Un labourage annuel profond n'est pas plus efficace qu'un labourage de surface, toutefois il y a certaines indications en faveur du fait qu'en labourant profondément de temps à autre, on améliore légèrement le rendement de ces récoltes de racines nutritives. On a étudié également la nature de la couche de semis, et on a trouvé qu'elle avait peu d'influence sur le rendement final. On a fait beaucoup d'expériences sur l'effet des cultures intercalées sur les plantes dont on récolte les racines; on a comparé le binage minimum nécessaire pour éliminer le plus gros des mauvaises herbes avec des binages plus fréquents. Pendant quelques années le résultat n'a pas été d'augmenter la récolte, et même souvent le rendement a été notamment réduit, sans doute à cause des dégâts inévitables

causés aux racines superficielles. Dans certaines expériences plus récentes sur le labourage intercalaire, on a pu quelquefois obtenir un accroissement du rendement. La marche de l'expérience a permis d'attribuer cette amélioration à l'un des binages effectué au moment du début de la croissance de la plante, et cet effet a été confirmé dans certaines expériences sur un autre type de terrain. Ceci donne à penser que les plantes des champs et des jardins sont spécialement affectées par la concurrence des mauvaises herbes au début de leur croissance, et qu'un binage à cette époque en vaut plusieurs ultérieurs.

Le résultat net de tout ce travail est de montrer que, les semailles étant faites d'une manière assez raisonnable, si on effectue un binage au début de la croissance, et si on enlève le plus gros des mauvaises herbes ultérieures, toute autre opération de culture sur le terrain serait de peu de valeur directe pour le plant. Ce résultat est en accord avec ceux qui ont été obtenus dans la région des Grandes Plaines; il est également en accord avec les connaissances modernes sur la physique du sol. Il est en conflit avec la tradition profondément ancrée, qui est soutenue au moins par trois raisons apparemment justes, sans compter la théorie capillaire. Premièrement, le fermier n'a pu obtenir de bons instruments qu'avec la Révolution Industrielle. Auparavant il menait une bataille perdue contre les mauvaises herbes: son seul espoir était de travailler la terre en toute occasion. Deuxièmement, des opérations de culture au moment où le plant commence à croître produisent quelques fois des résultats étonnants, et on supposait tacitement qu'un même bénéfice s'en suivrait pour le rendement. Les expériences de Rothamsted ont quelquefois montré des effets similaires, qui ont toutefois disparus au moment de la moisson, de sorte que le rendement — le criterium final — est resté le même. Troisièmement, des fermiers ardents et qui réussissent bien, sont presque toujours d'enthousiastes adeptes de leur art. Cet argument était peut-être le plus puissant pour le fermier moyen: les fermes et les comptes en banque de ces chefs prouvaient sans aucun doute que leur opinion était juste. Cependant, la véritable raison de leur succès tenait à une cause différente pour laquelle on peut invoquer aussi un motif traditionnel: 'Là où le maître pose son pied, la terre est fructifiée'.

Sir William Bragg, O.M.

C'est avec le regret le plus profond que nous annonçons la mort, survenue le 12 mars, de SIR WILLIAM BRAGG, doyen des physiciens britanniques, célèbre dans le monde entier par ses brillantes recherches sur la structure de la matière.

Né le 2 juillet 1862, Bragg fut élève de *King William's College*, dans l'île de Man, puis de *Trinity College* à Cambridge. De 1886 à 1908 il occupa une chaire à l'Université d'Adèlaïde. Puis il fut successivement titulaire de la chaire 'Cavendish' à l'Université de Leeds (1909–15) et de la chaire 'Quain' à l'Université de Londres (1915–23). En 1904 et au cours des années suivantes il montra que les rayons α des diverses substances radioactives parcourent des distances différentes dans différents milieux et que les parcours ainsi effectués étaient étroitement liés aux poids atomiques des atomes constituant le milieu pénétré. Il effectua aussi des recherches sur les rayons β et les rayons X. Plus tard il prit part aux travaux expérimentaux de son fils, SIR LAWRENCE BRAGG, sur la structure des cristaux, et les résultats de cette collaboration se révélèrent si importants que le père et le fils reçurent ensemble, en 1915, le Prix Nobel de Physique. Sir William était également titulaire des médailles 'Rumford' et 'Copley' de la *Royal Society*. Les universités et sociétés savantes du monde entier lui décernèrent des titres honorifiques. Sa mort est un coup terrible pour la science britannique qui perd à la fois un grand chercheur et un grand organisateur. Un des derniers actes de Sir William Bragg fut de pousser avec enthousiasme à la création d'ENDEAVOUR.

Le cristal unique de métal et son importance

E. N. da C. ANDRADE

Dans cet article le Professeur Andrade décrit certaines propriétés remarquables des cristaux uniques des métaux. On doit à l'auteur des recherches fondamentales sur ce sujet. Il y a loin, semble-t-il, du cristal unique à la fonderie, mais le Professeur Andrade nous montre que les propriétés industrielles les plus importantes des métaux sont fonction des qualités de leurs constituants cristallins.

En 1864, SORBY inaugura l'étude de la métallographie, mais ce fut seulement en 1899 que EWING et ROSENHAIN attirèrent l'attention sur les changements qui interviennent dans les cristallites du métal lorsque celui-ci subit des déformations plastiques. Des séries de lignes parallèles ou arêtes apparaîssent dans ces cristallites, et ils les attribuèrent à un glissement le long des 'plans de clivage' des cristaux élémentaires. Cette découverte aurait dû montrer l'importance des recherches à faire sur l'influence de tensions bien déterminées sur les cristaux simples. Néanmoins, c'est en 1914 seulement que l'on prépara, et encore d'une manière plus ou moins accidentelle, des échantillons convenables: de minces barreaux dont les axes cristallographiques étaient continus tout du long — ce qui revient à dire que ces barreaux étaient constitués par des cristaux uniques de métal dont les faces extérieures non développées étaient remplacées par un cylindre arbitraire, de même qu'un diamant est taillé selon des faces arbitraires.

La plupart des expériences ont été faites en provoquant l'extension de barres ou de gros fils dans lesquels on avait obtenu une structure monocristalline par l'un des procédés de croissance lente du cristal à partir d'un 'germe' initial, cependant d'importants résultats ont été obtenus par G. I. TAYLOR sur des échantillons plus gros, et par CARPENTER et ELAM travaillant sur des échantillons plats. Certaines des propriétés ainsi découvertes sont aisément compatibles avec des notions bien établies. Par exemple, l'extension permanente de l'échantillon cristallin se produit par glissement sur certains plans cristallographiques préférentiels et dans une certaine direction cristallographique préférentielle[1]. Ceci paraît raisonnable, bien qu'il puisse en résulter des effets étrangers lorsqu'il arrive, par exemple, qu'un plan unique de glissement se trouve presque à angle droit de l'axe du fil, comme le montre la figure 1, qui représente un fil de cadmium dont le plan hexagonal de base est vertical dans la présentation de l'image. La tension longitudinale dans le fil a produit un glissement considérable perpendiculaire à la direction de la tension, comme on peut le voir à gauche de l'image, et un glissement moindre sur un autre plan, vers l'extrême droite de l'image.

Il est moins facile de faire cadrer avec nos idées habituelles le fait que, en général, les glissements ne se produisent pas de la même façon sur tous les plans parallèles, mais plus spécialement, et d'une manière arbitraire, sur certains d'entre eux, ce qui donne l'effet caractéristique d'une pile de lames, comme le montrent les figures 2 et 3. L'espacement des lamelles dépend de la nature du métal et varie avec la température. L'existence de ces 'lamelles de glissement' suggère que le cristal ne se comporte pas selon les conditions idéales, puisqu'on devrait s'attendre à trouver dans un cristal parfait une distribution uniforme des glissements. De plus, il a été établi, que si le cristal est soumis à une certaine charge convenablement choisie, les glissements vont se

[1]La direction est plus importante que le plan, et se trouve toujours être la direction où l'arrangement atomique est le plus compact. Voir E. N. da C. Andrade, *Proc. Phys. Soc.*, 1940, **52,** 1.

produire par petits sauts à des intervalles de temps variables. Ainsi, le phénomène est discontinu à la fois dans l'espace et dans le temps. Nous avons affaire à une série de petites avalanches locales.

Les cristaux uniques jouissent d'autres propriétés générales tout à fait remarquables: ils cèdent sous des forces très petites, et, surtout dans certains cas, on peut produire sur eux de très grandes extensions plastiques sans provoquer la rupture. De fortes raisons d'ordre théorique font supposer que la limite élastique du cristal parfait doit être beaucoup plus élevée que celle de n'importe quel métal industriel, et le fait que les métaux industriels n'atteignent jamais la limite théorique de résistance a été parfois attribué à leur structure polycristalline. En fait, le métal sous forme de monocristal est beaucoup plus faible que le même métal sous sa forme habituelle: des forces de l'ordre du centième de la résistance à la traction d'un métal polycristallin produisent une déformation plastique sur un cristal unique de ce même métal. En ce qui concerne l'extensibilité, des cristaux uniques de cadmium peuvent être étirés jusqu'à cinq fois leur longueur initiale, le cylindre devenant un ruban plat, du fait du glissement dans une direction donnée. La figure 4 permet de voir cet effet.

De fortes tensions produisent un autre effet caractéristique sur les monocristaux: c'est un durcissement étonnant, correspondant au 'durcissement mécanique' des métaux ordinaires. Le phénomène est particulièrement frappant lorsque le métal est loin de son point de fusion, ainsi, lorsque les expériences se font à la température ordinaire, l'effet est beaucoup plus marqué sur des métaux dont le point de fusion est relativement élevé, comme l'argent, l'or et le cuivre, que sur le plomb ou le zinc. Pour prendre un cas extrême, on a pu établir qu'un monocristal d'argent étiré à environ deux fois sa longueur primitive devient quatre-vingt-douze fois plus résistant.

Nous sommes donc aux prises avec le paradoxe suivant: des forces très peu intenses suffisent à provoquer la déformation plastique d'un monocristal que l'on considérait comme très résistant, et d'autre part, à une température telle que le 'rétablissement du cristal' ne puisse se produire, la dureté augmente énormément avec la déformation. On peut montrer, grâce aux rayons X, que l'augmentation de résistance va de pair avec certaines dislocations bien déterminées du réseau cristallin: les taches de LAUE, circulaires lorsque le cristal est indemne, vont s'allonger en arcs, produisant les 'astérismes' visibles sur la figure 5. Ces diverses propriétés ne peuvent guère être expliquées

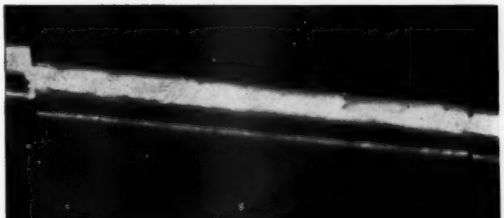


FIGURE 1 – *Cristal simple de cadmium dont les plans de glissement sont presque normaux à l'axe du cristal.*

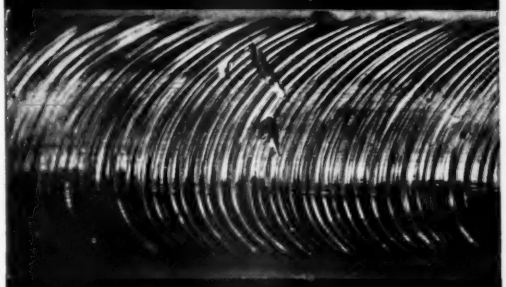


FIGURE 2 – *Cristal simple de mercure solidifié, montrant les lamelles dues au glissement.*

FIGURE 3 – *Cristal simple de molybdène, montrant les lamelles dues au glissement.*

FIGURE 4 – *Cristal simple de cadmium, montrant l'effet d'amincissement marqué dans une direction.*

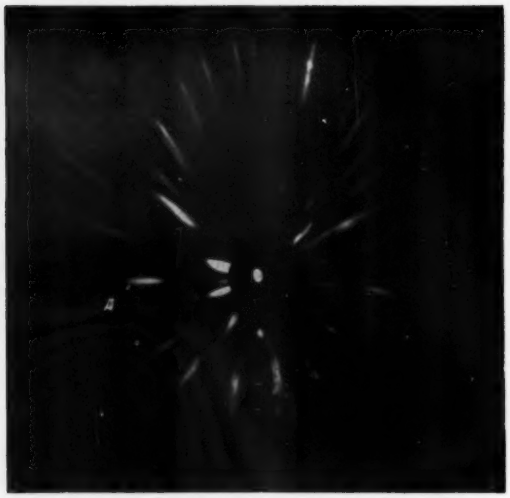


FIGURE 5 – *Les taches de Laue, qui seraient plus ou moins circulaires dans le cas d'un cristal parfait, s'allongent en astérismes dans ce cristal de fer étiré de* 16 *pour cent.*

dans l'hypothèse que les cristaux uniques ainsi préparés sont bâtis sur un réseau parfait. On ne peut pas non plus invoquer l'agitation thermique comme cause essentielle de la plasticité puisque, fait surprenant, des monocristaux de cadmium sont encore très plastiques à une température de 1° au-dessus du zéro absolu.

Les seules théories qui paraîssent offrir au moins une solution partielle du problème sont basées sur la supposition que le réseau cristallin n'est pas parfait, mais compte un certain nombre de défauts, où les atomes se trouvent 'décalés' par rapport à leurs voisins. On peut montrer qu'en un de ces points un effort tranchant va probablement déclancher une avalanche de glissements le long du plan du cristal. On pourrait donner de ce phénomène une analogie très imparfaite en le comparant à ce qui se passe si on coupe la lisière d'un tissu pour le déchirer facilement: la déchirure va suivre la chaîne ou ligne de structure. L'agitation thermique peut intervenir de temps en temps pour produire en certains points des conditions favorables au glissement, ce qui expliquerait la discontinuité dans le temps des avalanches. Ce qu'on ignore, c'est comment se produisent ces défauts, et s'il est possible de les éviter. Peut-être représentent-ils une sorte de 'mouvement brownien figé' qui se produit forcément lorsqu'un métal se solidifie.

Le durcissement est étroitement lié aux dérangements considérables que les tensions produisent dans la structure. Aux hautes températures, ces dérangements se guérissent d'eux-mêmes, c'est le 'rétablissement cristallin', il n'y a alors que très faible durcissement. Aux basses températures, ils sont plus ou moins permanents. La course des avalanches est probablement arrêtée par les cassures artificielles qui se produisent dans la structure, de même qu'il est à peu près sûr que le parcours des glissements est borné dans un métal polycristallin par les limites des grains cristallins, ce qui explique que l'aggrégat soit plus résistant que le monocristal.

L'étude des cristaux uniques a révélé une série de phénomènes étranges dus, semble-t-il, à ce que la structure réelle du cristal s'écarte quelque peu du réseau parfait. A certains endroits plus ou moins régulièrement distribués l'ordre géométrique est interrompu: ces dislocations sont peut-être inhérentes à la structure cristalline. Ces mêmes dislocations, pouvant engendrer des glissements, sont responsables de l'étrange faiblesse du monocristal, faiblesse qu'une manipulation quelconque guérit probablement en créant dans le cristal des délimitations virtuelles où la structure cessera d'être régulière. On peut considérer ces dislocations comme des noyaux de contamination d'où l'épidémie peut se propager rapidement: les délimitations jouent le rôle de stations de quarantaine en empêchant l'infection de se répandre. Deux tâches nous incombent au point de vue de la métallurgie appliquée: d'abord chercher si l'on peut supprimer complètement les centres d'infection, ou en réduire le nombre; et, si c'est impossible, chercher à multiplier les délimitaiions, autant que faire se peut, et rendre la quarantaine aussi effective que possible. Les monocristaux en eux-mêmes peuvent paraître bien éloignés de la fonderie, pourtant ils portent en eux le secret de la résistance ou de la faiblesse de tout métal.

Le Musée d'Histoire de la Science à Oxford

F. SHERWOOD TAYLOR

Le développement de la science ressemble à la croissance d'un organisme et, pour bien comprendre l'état actuel de la science ou pour en bien estimer l'avenir, il nous faut connaître le passé autant que faire se peut. Les instruments des savants d'autrefois font partie de ce bagage historique. Le Dr Sherwood Taylor nous révèle certaines des richesses conservées à Oxford dans l''Old Ashmolean Building'.

La science, plus disposée à anticiper l'avenir qu'à faire revivre le passé, ne considère pas beaucoup les reliques. Peu d'appareils historiques existent encore, et il est bon que le Musée d'Histoire de la Science soit entièrement consacré à ces héritages de la philosophie, et qu'il continue à les abriter dans un édifice qui est en lui-même un monument à la gloire du zèle scientifique des temps passés. Peu de pays contribuèrent autant que l'Angleterre, et aucune ville plus qu'Oxford, à cette renaissance de la science qui précéda et suivit la création de la *Royal Society*. BOYLE, HOOKE, MAYOW, LOWER, WALLIS le mathématicien, WILLIS l'anatomiste, HALLEY l'astronome, ont tous poursuivis une partie de leurs recherches à Oxford, où furent publiés les premiers cahiers des *Philosophical Transactions*. Le besoin d'une maison de la science commençait à se faire sentir à Oxford quand ELIAS ASHMOLE, ardent amoureux du savoir s'il en fut, en fournit l'occasion. Ashmole se trouvait posséder une collection de pièces rares réunies par les frères TRADESCANT, et il en fit don à l'université sous condition qu'un local approprié lui soit attribué. Ainsi, en 1683, fut achevé 'le vaste et majestueux édifice de pierre bien équarrie' représenté dans la figure 1. Le magnifique portail s'ouvrait sur une grande galerie ornée de colonnes: l'École d'Histoire Naturelle; au-dessus se trouvait le *Musaeum Ashmoleanum;* au-dessous, dans une salle voûtée qui sert aujourd'hui d'abri à nos collections, se trouvait un laboratoire de chimie. Il y avait aussi une bibliothèque où logeait autrefois la précieuse collection de manuscrits dite 'Ashmoléenne', conservée aujourd'hui à la *Bodleian*. Le DR PLOT, auteur de *L'Histoire naturelle de l'Oxfordshire*, en fut le premier conservateur. Les grands espoirs qu'avait nourri Ashmole ne furent pas entièrement réalisés. Les collections furent bien conservées et même augmentées, mais, au XVIIIème siècle, à Oxford, la science tomba en léthargie.

FIGURE 1 – *Le Musée d'Histoire de la Science*

Au XIXème siècle, la science renaît à Oxford sous l'impulsion d'hommes comme DAUBENY et BUCKLAND. Mais le Musée Ashmoléen n'était plus ni assez grand, ni suffisamment bien équipé pour la science moderne. Le laboratoire fut réinstallé à *Magdalen*, les collections scientifiques dans les Musées du Parc; et l'on transfèra au bâtiment de *Beaumont Street* les collections archéologiques et l'appellation de 'Musée Ashmoléen'. Le noble édifice d'Ashmole

FIGURE 2 – *L'astrolabe de F. Egnatius Dantes. Circa* 1580.

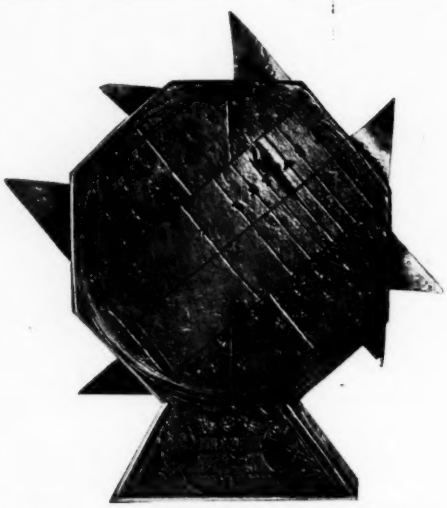


FIGURE 3 – *Le cadran fit pour le cardinal Wolsey par N. Krätzer.*

fut alors dignement consacré au logement des érudits qui rédigèrent l'énorme *Dictionnaire d'Oxford.* Mais en 1925, la science retourne chez elle. LEWIS EVANS, savant et invétéré collectionneur d'astrolabes, cadrans et autres appareils du même genre, offre sa collection à l'université, comme Ashmole avant lui, sous condition qu'elle soit dignement logée. La collection, accrue de prêts et dons des collèges et d'autres sources, fut installée dans l'ancien *Musaeum Ashmoleanum* jusqu'à la guerre actuelle: après la guerre, si aucun malheur ne survient d'ici là, elle occupera tout ce superbe édifice.

Cet ensemble intéresse la période qui va de l'époque des Arabes jusqu'au XXème siècle. Les astrolabes en sont les pièces les plus remarquables. L'astrolabe (figure 2) est constituée essentiellement par un cercle gradué muni de viseurs pour noter l'altitude du soleil ou des étoiles, et d'une projection du ciel, grâce à laquelle l'heure et d'autres résultats numériques peuvent se déduire des observations sans autres calculs. Inventée par les Grecs, l'astrolabe fut par excellence l'instrument astronomique du Moyen-Age. La même ingéniosité, les mêmes efforts artistiques, furent déployés pour les cadrans solaires et les nocturlabes, qui donnent une mesure du temps basée sur la rotation de la Grande et la Petite Ourse autour de l'étoile polaire. Le dessin des cadrans était un divertissement pour le géomètre, et leur ingéniosité pose certains problèmes à l'amateur moderne. Le plus intéressants de nos cadrans est celui que KRÄTZER fit pour le Cardinal Wolsey, c'est ce même Krätzer qui, croit-on, fit l'horloge de Hampton Court.

CHARLES BOYLE, quatrième Comte d'Orrery, et petit-neveu de Robert Boyle, réunit entre 1700 et 1710 une collection d'instruments 'philosophiques' et la légua à *Christ Church;* ils y demeurèrent, presque totalement ignorés jusqu'en 1919. Ils ont été prêtés pour le moment au Musée et constituent un ensemble unique de chefs-d'œuvre des fabricants d'appareils de l'époque; ils ont échappé à la main sacrilège du rénovateur qui n'a pas craint d'ajouter des perfectionnements à tant d'anciens instruments. Parmi une cinquantaine de pièces il faut mentionner un superbe microscope dû à JOHN MARSHALL (1704), une sphère de COPERNIC d'un fini exquis, ainsi que plusieurs lunettes.

Les premières lunettes astronomiques étaient de bois, tandis que les terrestres étaient généralement en vélin, c'est en effet assez tard dans le XVIIIème siècle que l'on réussit à faire des tubes de laiton coulissant parfaitement. Les téléscopes de vélin sont extrêmement beaux, enjolivés d'or et tachetés de vieux rouges et de verts. Ils sont aussi très légers, mais, bien

entendu, ils manquent de rigidité. Les observatoires d'Oxford, le Savilian et le Radcliffe, nous ont légué beaucoup d'admirables instruments, et surtout le grand cadran de huit pieds de JOHN BIRD, le chef d'œuvre des chefs d'œuvre du XVIIIème siècle.

Le musée est riche en planétaires — modèles mécaniques du système solaire, dénommés 'orreries', car ils furent inventés par ROWLEY, le fabricant d'instruments, qui les baptisa du nom de son patron, le quatrième comte d'Orrery. Nous ne possédons pas le planétaire original, mais on nous en a prêté trois qui sont extrêmement intéressants, comme instruments et comme objets d'art. Le grand planétaire de *All Souls College* ne montre pas seulement le mouvement du soleil, de la lune et des planètes, mais aussi celui des nombreux satellites de Jupiter et de Saturne (figure 4). Le microscope fut sensiblement amélioré au cours du XVIIIème siècle. Je ne puis ici, faute de place, en citer qu'un parmi ceux de notre collection, celui qui représente l'idée qu'on se faisait au XVIIIème siècle d'un microscope royal. La collaboration de l'orfèvre et du fabricant d'appareil a produit l'instrument magnifique représenté figure 5. Quelque peu absurde, il est cependant typique d'un âge disparu.

FIGURE 4 – *Le grand planétaire de* All Souls College, *Oxford.*

Les anciens appareils de chimie sont très rares, car la verrerie sert aussi longtemps qu'elle n'est pas brisée. Cependant, on peut voir dans le musée une bonne partie de l'appareillage de l'ancien laboratoire public, datant de plus d'un siècle. Les alambics de verre ne diffèrent guère de ceux du Moyen-Age, et l'ensemble des appareils divers: eudiomètres, tubes en U, tubes à combustion, un fourneau à charbon de bois et différents autres objets, constituent une exposition extraordinaire. Une énorme lentille de verre, fort élégamment montée, nous rappelle qu'il fallait alors recourir au soleil pour chauffer plus fort qu'avec un feu de forge. Pour ce qui est des produits chimiques, nous possédons trois cabinets de matière médicale, contenant plusieurs centaines d'échantillons étiquettés de drogues du XVIIIème siècle, y compris des remèdes tels que le squelette de vipère, et une sorte de matière noirâtre comme du goudron: de la chair humaine desséchée. Mais de toute l'exposition de chimie, la pièce peut-être la plus conséquente, parce qu'elle représente le germe d'une considérable industrie, c'est un élégant cabinet de gaïac, tendu de velours rouge, contenant à peu près une douzaine d'élégantes fioles. Une petite plaque d'argent annonce: 'Produits dérivés du charbon selon le procédé de Mr Windsor, préparés par T. Accum, Professeur de CHIMIE à l'Institution Surrey'. ACCUM y fut attaché de 1803 à 1819. Les fioles contiennent du muriate d'ammoniaque, du carbonate d'ammoniaque, et nombre d'autres produits dérivés du goudron de houille. L'un de ceux-ci, 'Huile Essentielle Hautement Rectifiée', ne peut guère être que du benzène, préparé bon nombre d'années avant sa découverte en 1825 par Faraday!

FIGURE 5 – *Le microscope universel d'argent, fit pour George III par George Adams.*

Les fibres textiles à la lumière des rayons X

W. T. ASTBURY

Eclaircir la structure des fibres textiles, voilà qui aurait semblé, il n'y a pas bien longtemps encore, une ambition scientifique irréalisable. Mais le Dr Astbury nous démontre non seulement que le problème est susceptible d'être résolu, mais encore qu'on a beaucoup avancé vers la solution. Les photographies aux rayons X (obtenues dans son laboratoire) nous montrent la ligne d'attaque.

L'analyse des structures cristallines par rayons X est un bien vaste sujet. Pourtant c'est encore un sujet de spécialiste, ainsi qu'il est de règle pour toute recherche d'avant-garde. Cependant, tous ceux qui tentent d'appliquer ou de faire progresser les connaissances actuelles en chimie physique ou en biologie peuvent au moins l'aborder et en comprendre les principes, juger ce qu'ils impliquent et comment on peut les utiliser. Dans l'étude des substances biologiques fibreuses d'origine textile ou autre, la méthode s'est développée d'une manière particulièrement féconde.

On trouve que la structure des fibres naturelles rappelle tout à fait la structure des brins textiles consistant en paquets de fibres élémentaires; seulement la Nature part des molécules à longues chaînes. Les dimensions, la forme, l'orientation dans la fibre elle-même, et enfin la structure moléculaire intime de ces invisibles cristallites peuvent chacune être étudiées par les rayons X, comme on pourra le voir par les exemples et illustrations données ci-dessous.

La technique expérimentale de l'analyse par rayons X des matières fibreuses est assez simple en principe — c'est l'interprétation correcte des résultats qui exige la plus subtile coordination des renseignements mathématiques, physiques, chimiques et biologiques — l'essence même de ce travail est illustrée par la figure 1. Les rayons X sont employés sous forme d'un faisceau à peu près parallèle, large d'environ 1/2 mm. ou moins. On obtient ceci, soit en

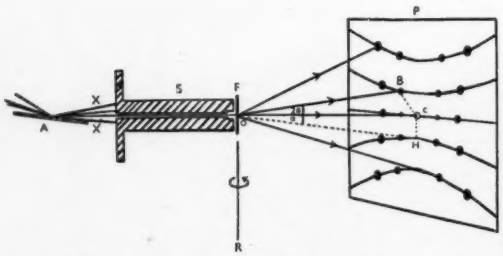


FIGURE 1 – *Schéma de la diffraction des rayons X par un cristal tournant ou un paquet de fibres parallèles.* **A**, *anticathode du tube à rayons X.* **OB**, *faisceau diffracté.* **P**, *film photographique.* **X**, *rayons X.* **S**, *fente.* **F**, *fibres.* **OC**, *faisceau incident non dévié.* **C**, *cache de plomb au centre du cliché.*

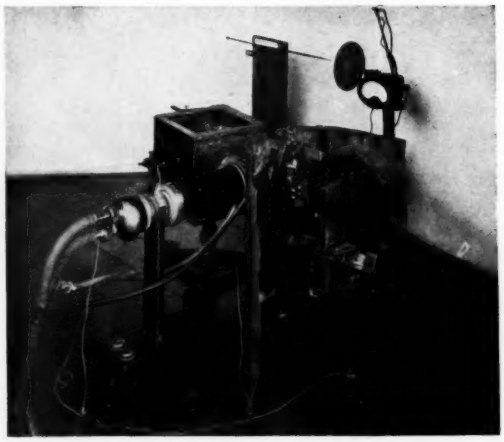


FIGURE 2 – *Tube à rayons X munis de deux spectromètres à rayons X montés à deux fenêtres différentes.*

employant ce qu'on appelle communément une 'fente', c'est à dire un collimateur cylindrique constitué par un tube métallique, de quelques centimètres de long, soit au moyen de trous d'épingles percés dans deux écrans de plomb. On monte le petit paquet de fibres parallèles à examiner juste devant la fente, et en général perpendiculairement au faisceau de rayons X, tandis qu'on place la plaque ou le film photographique à quelques centimètres derrière les fibres. Les cristallites fibreux 'diffractent' le faisceau incident dans certaines directions qui dépendent de leur forme de leur arrangement mutuel, et de leur structure moléculaire; et les rayons diffractés donnent naissance, après développement selon la méthode habituelle, à un ensemble de 'taches' noires ou d'arcs qui seraient distribués, dans le cas théorique idéal, suivant une série d'hyperboles coaxiales.

Les rayons X sont en quelque sorte une lumière pour les yeux de l'esprit, ainsi le lecteur non spécialisé doit bien se souvenir que les clichés représentés ici ne correspondent à rien de ce que l'œil humain peut percevoir, même à l'aide du microscope. Ce que nous observons c'est l'*intérieur*, siège des propriétés essentielles physiques et chimiques.

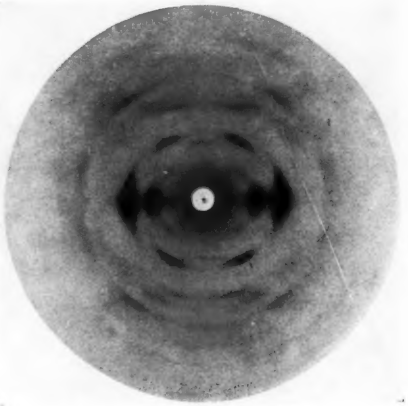


FIGURE 3

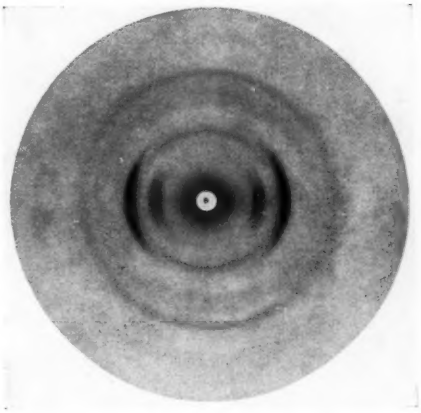


FIGURE 4

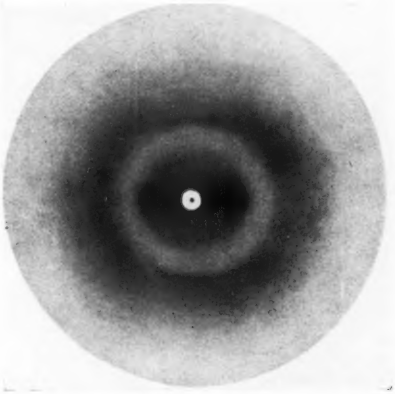


FIGURE 5

Figure 3 – Fibre naturelle de *ramie*, constituée par de la cellulose, polysaccharide dont les molécules sont formées par de longues chaînes de résidus β glucosiques. La forme de la molécule de cellulose a pu être presque totalement déterminée grâce à des clichés comme celui-ci. Remarquez la largeur des 'taches' sur l'équateur du diagramme, ou près de celui-ci, tandis que les taches sont plus fines sur le méridien, ou près de celui-ci, ce qui signifie que les cristallites sont longs et minces. Un effet analogue apparaîtra sur la plupart des autres clichés, et pour la même raison.

Figure 4 – *Coton*, constitué aussi de cellulose — mais cette fois les chaînes moléculaires sont disposées nettement en spirales autour de l'axe de la fibre. *Figures* 5, 6, 7, 11 (*a*) et 11 (*b*) – Toutes les laines, comme les poils de mammifères, les ongles, les cornes, les sabots, les fanons de baleine, etc. . . . donnent une figure de diffraction semblable à la figure 5, si elles ne sont pas étirées. C'est le spectre caractéristique de la *kératine* α. Si on les étire elles vont donner le motif de la figure 6 (*kératine* β), mais si elles se contractent à nouveau jusqu'à reprendre leur longueur première, on retrouve le diagramme α. Ainsi les rayons X révèlent une transformation réversible des molécules mêmes de

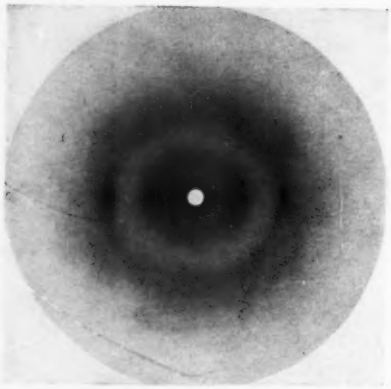


FIGURE 6

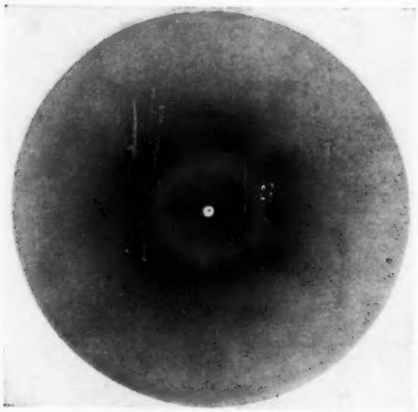


FIGURE 7

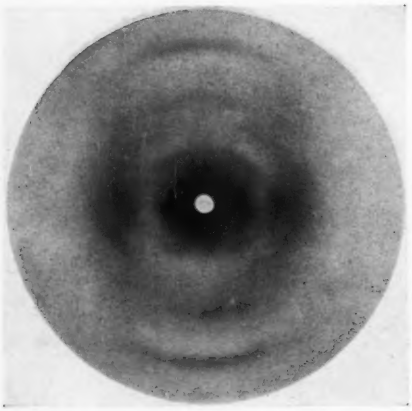


FIGURE 8

la kératine et expliquent de cette manière non seulement les merveilleuses propriétés élastiques des cheveux, mais celles des muscles, dont la protéine principale, la *myosine*, donne un diagramme de rayons X du même type. La forme α de la kératine et de la myosine est constituée par des chaînes polypeptidiques régulièrement repliées qui se déplient quand l'échantillon est étiré, puis reviennent à leur position première si on cesse la traction. En développant convenablement cette interprétation, on peut expliquer aussi la 'mise en plis' des cheveux étirés ou déformés dans l'eau chaude ou la vapeur, et par conséquent 'l'ondulation permanente'! La figure 7 représente le spectre de rayons X donné par des cheveux humains étirés dans la vapeur. Les figures 11 (*a*) et 11 (*b*) sont des microdiagrammes aux rayons X d'un cheveu unique (*a*) non étiré et (*b*) étiré.

Figure 8 – Un assemblage parallèle de fibres de peau de vache non tannée. Les fibres de collagène comprennent les tissus conjonctifs, les tendons, la peau et les nageoires de poisson, les cartilages, la gélatine, etc. . . . Le cuir est presque entièrement constitué par des fibres de collagène non orientées. Une même figure de diffraction bien caractéristique est commune à tout le groupe; on l'interprète comme dûe à des chaînes polypeptidiques partiellement disposées selon la configuration *cis*, par opposition aux chaînes légèrement plus longues, correspondant à la configuration *trans*, de la soie ou de la kératine étirée.

Figure 9 – Soie naturelle (*Bombyx mori*). Les rayons X montrent que cette fibre (la protéine *fibroïne*) est constituée par des chaînes polypeptidiques étirées au maximum. Elle n'a donc pas l'élasticité des fibres du type cheveu.

Figure 10 – Tuyau d'une plume de mouette. Ce diagramme est commun à toutes les plumes et becs d'oiseaux, écailles de tortues, écailles de reptiles, etc. Ceci montre de façon frappante et fondamentale l'affinité phylogénique des oiseaux et des reptiles, complètement différents des mammifères.

Figure 12 – *Rayonne*, ou soie artificielle, constituée par la cellulose régénérée. Les molécules en chaînes sont juxtaposées d'une manière qui diffère très peu de celle de la cellulose naturelle. Le fait que sur ce cliché on peut voir tant de taches et de si fines donne une mesure de la perfection de cet échantillon de rayonne.

Figure 13 – *Nylon*, nouvelle fibre vraiment synthétique (c'est une polyamide) qui rivalise maintenant avec la soie naturelle. C'est véritablement un corps plastique.

Figure 14 – La fibre minérale, *amiante chrysotile*. C'est un silicate (serpentine fibreuse) dont la structure se compose de longues chaînes de groupes SiO_4 liés ensemble. Le fait que certaines taches sont étirées en traînées le long des hyperboles montre que la distance latérale entre les chaînes est variable, par suite de la diversité des ions métalliques qui se trouvent entre elles et les relient.

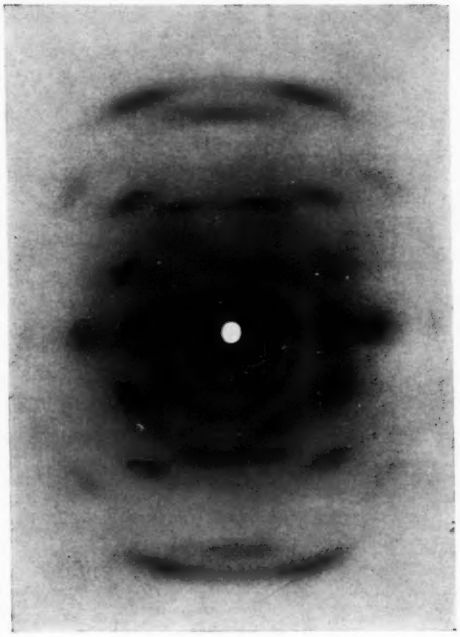


FIGURE 9

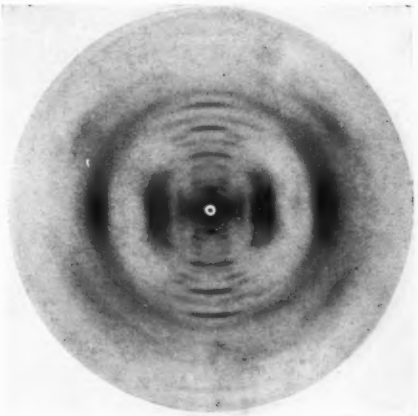


FIGURE 10

(*a*) (*b*)

FIGURE 11

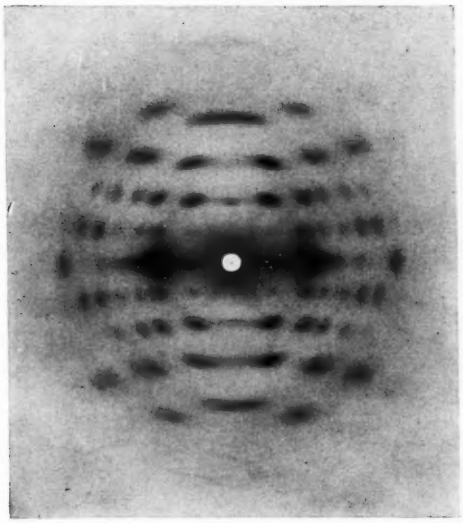


FIGURE 12

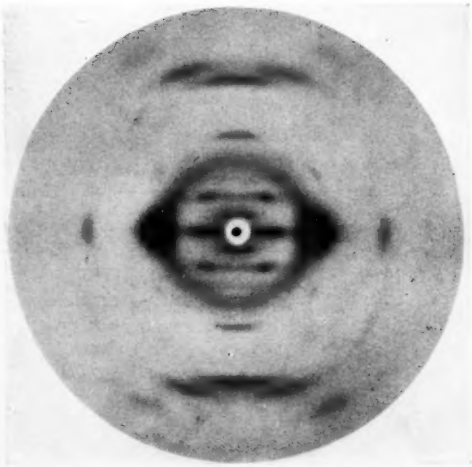


FIGURE 13

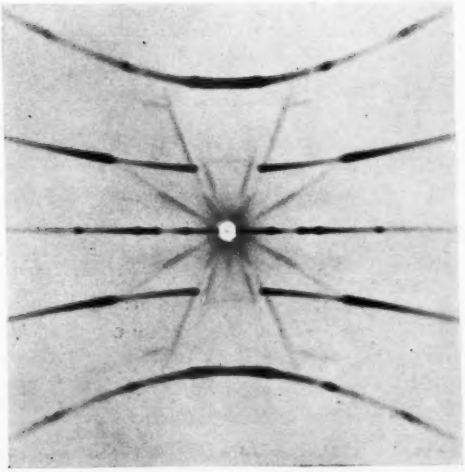


FIGURE 14

L'action des rayons X sur les cellules vivantes

J. A. CROWTHER

La science moderne attaque les problèmes de plusieurs manières à la fois. Cette méthode d'attaque multiple concertée a sans doute été la cause essentielle des progrès si rapides accomplis au cours des cinquante dernières années. Dans les pages qui suivent le professeur Crowther montre comment l'étude de l'action des rayons X sur la cellule vivante peut éclaircir le mécanisme de l'hérédité.

La découverte des rayons X a été, dans l'histoire de la science, un évènement fécond: d'importance capitale en elle-même, sa signification a été largement accrue du fait des possibilités nouvelles de progrès qu'elle a ouvertes dans bien des domaines. Les médecins ont immédiatement vu de quelle aide puissante serait ce nouvel outil pour leurs diagnostics, et la science de la radiologie médicale atteint aujourd'hui un haut degré de perfection. Un peu plus tard, l'ingénieur a été amené à adopter des méthodes semblables pour éprouver l'homogénéité et la perfection des matériaux qu'il utilise. Dans la construction aéronautique en particulier, l'épreuve radiographique est une opération quotidiennement appliquée aux soudures ou pièces moulées importantes. Dans un domaine entièrement différent, l'application des méthodes de rayons X à l'étude des problèmes de structures moléculaires ou cristallines a permis de notables progrès, tant au point de vue théorique qu'au point de vue pratique.

Il devient de plus en plus probable que les recherches par rayons X s'appliquent avec au moins autant de succès à certains des problèmes les plus obscurs de la biologie. Entre la physique et la physiologie s'étend certainement l'un des champs de la science à la fois les plus riches et les moins explorés. Si l'on a pu faire tant de progrès dans ce pays, c'est en grande partie grâce à la politique prévoyante et à l'aide généreuse de la *British Empire Cancer Campaign.*

L'action des rayons X sur la cellule vivante est toujours destructive. Malgré certaines déceptions, la valeur thérapeutique des radiations est certainement considérable. Elle est dûe au fait que les cellules malades ou anormales sont plus sensibles aux rayons que les tissus sains qui les entourent. Ainsi elles peuvent être détruites par des doses de rayonnement qui n'affectent pas du tout les bons tissus, ou du moins pas assez pour causer un mal incurable. La différence extraordinaire de sensibilité aux rayons des diverses sortes de tissus, ou des cellules de même espèce à différents stages de leur développement, est un phénomène étonnant, dont toute théorie devra rendre compte. Il est encore plus frappant d'observer que dans certains cas une dose infinitésimale de rayons suffit à produire un effet biologique marqué.

Une étude approfondie de l'action léthale d'une irradiation continue sur une large population de cellules identiques fournit des résultats encore plus surprenants. On observe communément que les individus appartenant à un même peuplement résistent à des degrés très différents à l'exposition au froid extrême, à la famine, à la contagion, etc. . . . Quelques individus faibles expireront au bout de très peu de temps, mais le taux de mortalité ne va s'élever sérieusement que si l'attaque est assez prolongée pour excéder la résistance moyenne des individus. Le pourcentage des survivants diminue alors rapidement. Donc, si nous établissons un graphique en marquant le pourcentage de la population primitive qui survit à un moment donné, la courbe obtenue, dite courbe de survivance, sera une courbe en S, indiquée en trait plein sur la figure 1. La ligne pointillée indique la distribution de la vulnérabilité parmi les individus du peuplement. La courbe en S indique simplement que certains individus sont

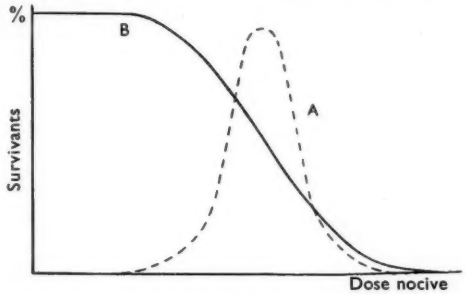


FIGURE 1 – *Courbe de survivance correspondant à une distribution symétrique de la vulnérabilité.*

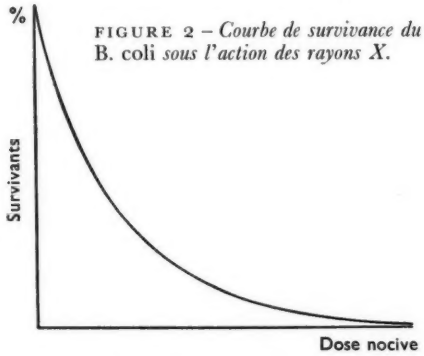


FIGURE 2 – *Courbe de survivance du* B. coli *sous l'action des rayons X.*

plus vulnérables que la moyenne, alors que d'autres le sont moins.

Ce type de courbe de survivance est assez fréquent lorsque les rayons X agissent comme agent destructeur. Cependant il a été établi que dans bien des cas l'action des rayons X se traduit par des courbes de survivance d'allure toute différente (figure 2). Ici, le nombre de décès est maximum dès le début de l'attaque, et il diminue au fur et à mesure que l'exposition augmente. Pour expliquer ceci par des variations biologiques parmi les individus, il nous faut supposer, non seulement que les diverses sensibilités des cellules s'échelonnent entre l'infini et zéro, mais encore que le groupe le plus important de la population possède une moindre résistance. Aucun agent nocif n'a jusqu'ici provoqué de pareille distribution de sensibilité. De plus, une analyse plus précise montre que ces nouvelles courbes de survivance sont du type exponentiel. Cela veut dire que le taux de mortalité reste absolument constant, soit que la durée de l'exposition ait été faible, soit qu'elle ait été prolongée. Par exemple, un bacille donné qui aurait survécu à une dose considérable de radiation, n'aurait pas plus de chances de succomber à une dose supplémentaire qu'un autre bacille préalablement non irradié. Cela revient à dire qu'une personne que l'on priverait de nourriture pendant une journée aurait autant de chances de mourir de faim si elle avait eu un bon dîner au préalable, ou trois semaines de jeûne. Pour résoudre ce paradoxe, il nous faut considérer non pas la nature de la substance biologique, mais celle de l'agent léthal.

Il est naturel d'imaginer que si un objet est exposé aux rayons X, chaque molécule prise isolément est soumise à l'action de la radiation. Il est en fait plutôt difficile de s'ôter de l'esprit cette notion d'irradiation uniforme. Pourtant l'idée est loin d'être juste. Un faisceau de rayons X consiste en effet en un essaim de *photons*, particules d'énergie de dimensions extrêmement petites, et l'absorption des rayons X par la matière n'est autre chose que l'arrêt d'une ou plusieurs de ces particules par choc avec un atome de la substance. L'atome se débarrasse de l'énergie qu'il a ainsi absorbée en émettant un électron de grande vitesse, qui, à son tour, va ioniser une fraction des molécules qu'il rencontre, laissant une traînée de molécules chargées, ou ions, dans son sillage, jusqu'à ce que toute son énergie première soit dispersée. Ce processus, qui a été abondamment étudié, est fort bien illustré par la photographie faite par C. T. R. WILSON, et reproduite figure 3. La photographie représente le passage d'un faisceau de rayons X dans l'air, de droite à gauche, et les ions deviennent visibles par les gouttes d'eau qu'ils condensent individuellement — cette technique d'une valeur inappréciable a été inventée par Wilson. Il est évident, d'après la photographie, que l'énergie du rayon a été concentrée sur un très petit nombre de molécules, la plupart n'ayant été affectée en aucune manière. Il est important de se rendre compte à quel point l'action des

FIGURE 3 – *Passage d'un faisceau de rayons X dans l'air.*

rayons peut être discontinue. Une particule dont le diamètre serait de l'ordre de 0,2 μ, qui serait donc assez grosse pour être distinctement visible avec un bon microscope, aurait 50 pour cent de chances de ne pas être atteinte par une dose de 100 unités; le passage d'un faisceau de rayons X d'une intensité de 1 unité par seconde pendant 500 ans laisserait encore un tiers des molécules indemnes.

D'autre part, il est évident que la probabilité pour qu'une personne soit atteinte par un projectile tiré au hasard est proportionnelle au nombre de personnes qui se trouvent à portée; et le nombre de morts en un temps donné, pendant une attaque où l'on tire au hasard, sera (en supposant que chaque projectile frappe mortellement) directement proportionnel au nombre d'individus exposés à l'attaque. Si l'attaque est ininterrompue, le taux de mortalité par mille des survivants reste constant, et la courbe de survivance est une exponentielle. Ainsi ces courbes exponentielles que l'on obtient pour la survivance de certains bacilles attaqués par les rayons X, si mystérieuses lorsque on les considère du point de vue biologique, sont exactement celles qui correspondent à la nature physique de la radiation et à l'hypothèse assez naturelle qu'une certaine libération d'énergie dans une région vitale de la structure peut suffire à déterminer la mort. Grâce à cette même hypothèse, il devient tout naturel d'observer que la dose léthale et le taux de l'irradiation sont indépendants: en effet, le nombre de victimes ne dépend évidemment pas de la vitesse de tir, mais du nombre des coups tirés.

Cette théorie de l'action des rayons X sur 'cibles', comme on l'appelle, n'a pas manqué de critiques influents. Si le raisonnement théorique ne prête guère à controverse, il a été suggéré par SCOTT, et aussi récemment qu'en 1937, que les preuves expérimentales étaient insuffisantes pour établir la nature exponentielle des courbes, et qu'on avait tout simplement affaire à des courbes en S, dont la partie initiale serait un très court palier. Les travaux et expériences particulièrement brillants de TIMOFÉEF-RESOVSKY sur l'action des rayons X sur les mutations du gène, et ceux de WYCKOFF sur l'effet destructeur des radiations sur les bactéries, ne laissent aucun doute sur la forme des courbes dans les cas étudiés. La théorie des 'cibles' est actuellement adoptée par la plupart de ceux qui font des recherches dans ce domaine.

Supposons que, dans des colonies où la courbe de survivance est du type exponentiel, un individu serait tué par la formation d'un ion au sein de certaine structure vitale — c'est une idée que j'ai avancée en 1924, à propos de certaines expériences de la première heure faites par STRANGEWAYS à Cambridge sur les cultures de tissus. En fait, les rayons X ont tendance à ne pas produire les ions individuellement, mais par petits groupes de trois ions en moyenne. Le volume de la région vulnérable est évidemment celui dans lequel la dose mortelle moyenne a 50 pour cent de chances de produire l'un de ces groupes d'ions. Puisque l'on peut connaître par des mesures physiques le nombre total de groupes d'ions formés par unité de volume à partir d'une dose donnée de rayonnement, on peut aisément calculer le volume moyen qui renfermera l'un de ces groupes d'ions. Ce volume est toujours notablement plus petit que le volume total de la cellule. Ainsi les rayons X n'agissent pas sur la cellule dans son ensemble, mais sur certaines structures spécifiques qu'elle renferme. Il est évident que les rayons X ouvrent à la recherche d'intéressantes possibilités dans le domaine des édifices submicroscopiques de la cellule vivante. Là où l'effet du rayonnement est assez violent pour causer la mort de l'organisme, il peut être difficile d'identifier la cible avec un édifice donné de la cellule. Mais lorsque le rayonnement a pour effet immédiat de produire une 'mutation', l'édifice peut être identifié assez sûrement comme un 'gène'.

Un récent article de LEA (du *Strangeways Laboratory*) et HAINES montre comment ce principe a été étendu lors d'une étude approfondie de l'effet du rayonnement sur le colibacille. On sait que la densité de l'ionisation le long de la trajectoire de photo-électrons émis par des rayons X dépend de la longueur d'onde du rayonnement. Pour des ondes courtes, la densité est faible, tandis que pour des ondes plus longues, les groupes d'ions sont plus rapprochés. La densité croît encore si l'on utilise comme agent ionisant des particules matérielles, comme par exemple les particules α du radium. La figure 4, qui représente la trajectoire d'une particule α dans l'air, montre que les groupes d'ions sont si serrés qu'ils ne

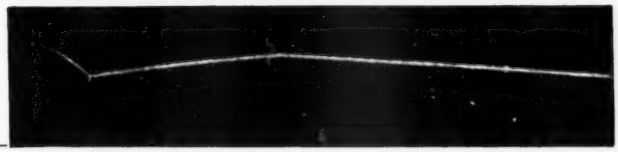


FIGURE 4 – *Trajectoire d'une particule α dans l'air.*
Photographiée par
M. le professeur C. T. R. Wilson.
Reproduite avec l'autorisation de Edward Arnold et Compagnie Limited

peuvent se voir isolément sur le cliché, la trace de la trajectoire est continue. En fait, la distance entre les groupes d'ions formés par le rayon α est beaucoup plus petite que les dimensions linéaires du volume de cible constitué par le coli-bacille, — suivant les mesures faites par rayons X, — de sorte que si les rayons X ne forment qu'un groupe d'ions dans cet édifice, la particule α en formera peut-être quatre-vingt. Mais puisque un seul groupe d'ions suffit à immobiliser la cellule, les soixante-dix-neuf autres sont perdus. Donc, si l'on mesure les deux rayonnements (selon la méthode générale actuellement adoptée), par le nombre total d'ions produits, les rayons α paraîtront quatre-vingt fois moins efficaces que les rayons X de courte longeur d'onde. La comparaison directe de l'effet des divers rayonnements sur les coli-bacilles démontre très clairement que le pouvoir destructeur décroît effectivement lorsque la densité des ions augmente sur la trajectoire de la particule, mais en aucune manière selon l'ordre de grandeur prévu. En fait, l'efficacité des particules α n'est pas quatre-vingt fois mais huit fois moindre que celle des rayons X de courte longueur d'onde.

Pour expliquer cette différence, Lea a suggéré qu'il fallait non pas considérer le volume vulnérable du coli-bacille comme celui d'une seule particule, mais diviser celui-ci en nombre de petites particules telles que si l'une quelconque d'entre elles était atteinte, cela provoquerait finalement la mort de la cellule. Si l'on suppose, par exemple, que le volume sensible est partagé entre mille particules individuelles, le volume total reste le même, mais la dimension linéaire de chaque particule est réduite à un dixième de sa valeur. La probabilité d'un choc reste la même que précédemment, puisqu'elle ne dépend que du volume sensible total, mais le nombre d'ions créés par une particule α à la suite d'un choc n'est plus que huit fois le nombre d'ions créés par le passage des rayons X: c'est exactement ce qui correspond à l'expérience.

Cette suggestion répond admirablement aux exigences physiques du problème; encore faut-il examiner sérieusement le point de vue biologique. Un seul bacille contiendrait environ mille de ces particules-cibles, dont le volume ne serait pas exagérément grand pour une seule molécule dont le poids moléculaire serait d'environ 200.000. Les particules sont vraisemblablement très diverses, car il paraît improbable que la destruction d'une seule parmi un millier d'identiques puisse sérieusement gêner la cellule. De plus, le fait qu'un seul choc doit finalement causer la mort de la cellule, implique que chaque particule joue un rôle fonctionnel vital et ne peut être remplacée par synthèse une fois détruite. Puisque l'organisme ne peut fabriquer ces particules, il doit en avoir hérité, et par conséquent, il doit être capable de les dédoubler au cours du processus de la division de la cellule, de manière à ce que chaque cellule engendrée soit vraiment complète. Cet ensemble d'exigences paraît absolument extravagant jusqu'au moment où nous nous rendons compte, avec Lea, 'qu'il s'agit là précisément des propriétés que les théories courantes attribuent au *gène*'. Si nous considérons le gène comme une particule bien définie, plutôt que comme une simple région de chromosome, cette particule va précisément nous offrir cette curieuse combinaison de propriétés que la théorie nous commande d'attribuer à nos cibles pour rayons X. Les deux effets produits par les rayons X qui ont été les mieux étudiés, c'est d'une part leur pouvoir de produire des mutations, d'autre part leur capacité destructrice. Les expériences que nous avons décrites ici montrent que dans chacun des deux cas les rayons X frappent la même cible.

Ces expériences fournissent une illustration directe et frappante de la valeur potentielle des rayons X pour l'investigation de ce que l'on pourrait appeler la structure fine de la matière: son domaine s'étend de la structure atomique (sur laquelle on sait assez de choses) à la structure microscopique. Ainsi, bien qu'il ne soit pas sûr que l'existence même de chromo-

somes dans le coli-bacille ait été prouvée par le microscope, les rayons X ont permis à Lea et à Haines d'avancer que le bacille contient très probablement un millier de gènes d'un diamètre moyen de 8,6 mμ. On commence à se rendre compte que dans le monde inorganique, comme dans le monde organique, les particules 'fines' jouent peut-être un rôle plus important que nous n'avions supposé jusqu'à présent. L'état colloïdal doit ses propriétés particulières à des particules de cet ordre de grandeur, et on a des raisons de supposer qu'elles jouent un rôle dans bien des problèmes de métallurgie.

Rien n'a été dit jusqu'ici sur le mécanisme suivant lequel la production d'un groupe d'ions dans la particule-cible amène la mort. DESSAUER émit, il y a plusieurs années, l'hypothèse que cette concentration d'énergie produisait des 'points chauds' dans l'organisme. Lea et ses collaborateurs émirent, il y a quelque temps, une autre hypothèse, selon laquelle les ions provoquaient une réaction chimique avec formation d'un poison au voisinage de la cible. Peut-être diraient-ils maintenant qu'il s'agit d'un réarrangement des gènes. Il m'a toujours semblé qu'on pouvait concevoir un mécanisme à la fois plus simple et plus direct. On sait que la plupart des édifices dans un noyau cellulaire sont chargés d'électricité, et, en particulier, le phénomène des points d'attache localisés, tel qu'on l'observe dans les chromosomes, fait fortement penser à l'existence de charges électriques localisées en différents points de l'édifice. La création d'un groupe d'ions au voisinage de ces charges amènerait leur neutralisation, qui, si nous avons raison de dire que les liaisons sont d'origine électrique, causerait un effondrement de l'édifice. Les rayons X produisent en fait d'une manière courante la fragmentation des chromosomes. Des expériences poursuivies depuis quelque temps à Reading sur des solutions colloïdales inorganiques ont démontré avec certitude que non seulement la charge, mais aussi la mobilité des minuscules particules qui constituent ces solutions, peuvent être modifiées profondément et d'une manière permanente par des doses de rayons X en somme très petites, même si on les compare à celles qui produisent des effets biologiques. Même si l'on tient compte de la tendance naturelle au physicien de chercher des explications dans le cadre de sa propre science, il semble qu'il vaudrait la peine de se livrer à des recherches sur les effets biologiques des rayons X en tant que conséquence électrique et balistique directe de la production des groupes d'ions.

Recherches récentes

LE PHYSICIEN À L'AIDE DU MÉDECIN

Par D. S. Evans *et* K. Mendelssohn, *Oxford*

Nombreuses sont les opérations médicales traditionnelles qu'il a été possible d'améliorer dans une considérable mesure du jour où l'on a clairement compris les principes physiques mis en jeu. C'est le cas du vaporiseur pour l'anesthésie quantitative à la vapeur d'éther. En utilisant le principe familier des thermostats employés en chimie, on effectue l'évaporation à température constante. La vapeur est ainsi maintenue sous pression constante et, par le jeu d'un simple robinet mélangeur, on peut la diluer de volumes contrôlés d'air ou d'oxygène. La chaleur de vaporisation est fournie par de l'eau bouillante. C'est-à-dire que l'appareil est assez simple pour pouvoir être utilisé même dans les conditions difficiles de l'hôpital de campagne ou de l'ambulance de triage. On est toujours parfaitement maître de l'anesthésie qui peut être pratiquée, sous le contrôle d'un médecin, même par un opérateur relativement peu exercé. Ce nouvel appareil va être mis en service dans l'armée britannique. La valeur qu'il présente en temps de paix est d'autre part évidente. On envisage d'en étendre l'application à la production de l'analgésie pendant le pansement des blessures graves et au cours des accouchements.

La réalisation d'un dispositif simple semi automatique d'enregistrement de la pression et du flux sanguins dans un membre sur lequel on opère nous offre un second exemple. On peut ainsi faire un diagnostic précoce du choc, et instituer le traitement convenable avant que l'évolution de cet état n'ait atteint le point où l'on se trouve impuissant. On a également étudié des gouttières chauffantes pour le traitement du choc, et il a été possible d'en modifier le dessin de manière à accroître sensiblement la vitesse de réchauffement du patient tout en diminuant cependant les risques de brûlure. On étudie les multiples applications possibles des thermomètres thermoélectriques, et l'on a construit un instrument très simple qui permet de déceler les enflures dangereuses des membres plâtrés après blessure.

Les grands progrès ainsi accomplis en peu de temps sont dûs à l'application de méthodes physiques dans des domaines cliniques déterminés, et au fait que ce travail est confié à des physiciens sans cesse conseillés et aidés par des médecins spécialistes choisis parmi les cliniciens éprouvés.

Les phthalocyanines

C. J. T. CRONSHAW

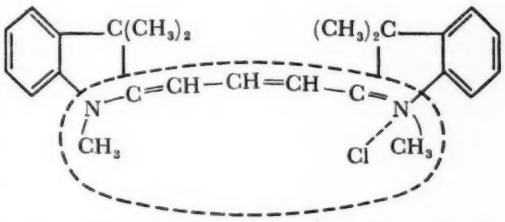
Le Dr Cronshaw nous montre comment l'examen d'une anomalie de coloration dans une préparation de phtalimide a conduit à la découverte d'un des plus intéressants des groupes de pigments connus.

Dans ses études des relations entre la structure chimique et les propriétés physiques des corps, le chimiste dessine et construit des édifices appropriés à des buts donnés. Tout comme un architecte il doit se préoccuper de formes et de proportions, de tensions et d'efforts, d'angles et de dimensions. Et même, pour qui sait apprécier la science, ces structures peuvent être belles et inspiratrices. Enfin les 'bâtiments' de la chimie organique peuvent être édifiés, en principe tout au moins, par l'assemblage d'unités élémentaires, comme les maçonneries qu'on élève brique par brique. Cette synthèse de molécules, obtenus sur plan et à dessein, caractérise la chimie organique et la distingue de la chimie minérale.

La pratique de cette architecture moléculaire a conduit les chimistes à donner un nom particulier aux matériaux de construction responsables de la coloration de l'édifice: on les nomme *chromophores*. Une substance colorée n'est pas nécessairement un colorant (les colorants contiennent certains groupes particuliers en outre de ceux qui donnent à la molécule sa couleur); mais la présence du chromophore est nécessaire à l'existence de la couleur comme à celle du pouvoir tinctorial.

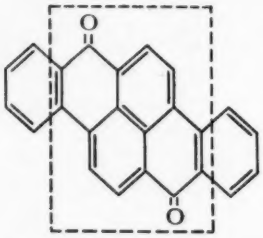
L'idée que la présence d'un chromophore est la condition nécessaire de la coloration d'un composé organique est une idée ancienne, proposée par WITT, en 1876. Elle reste exacte, mais on s'est rendu compte, avec le temps, qu'elle n'est pas complète et qu'une conception additionnelle est nécessaire. C'est le regretté H. E. ARMSTRONG, cet homme si entraînant dont nous révérons le souvenir, qui mit en lumière le fait que les substances colorées ont une structure analogue à celle de la quinone. La quinone elle-même présente une faible coloration jaune. C'était en 1888. La quinone est un dérivé simple du benzène. Elle possède deux atomes d'oxygène dont la présence provoque une série de tensions alternées dans la structure chimique. C'est à cette conjugaison de défaut de saturation dans les molécules que les substances doivent leur coloration. Les recherches récentes ont ajouté à notre conception un raffinement nouveau. Dans la chaîne de tensions et 'non tensions' dont nous avons parlé, l'occurrence d'une tension donnée n'est pas constante; elle oscille, donnant naissance à ce que l'on nomme résonance. La théorie suppose, en fait, que l'état réel se situe entre les deux modifications.

On trouve évidemment, dans la chimie des colorants, de nombreuses règles concernant les relations entre les propriétés physiques et la structure. Car on demande aux colorants bien d'autres choses que la couleur, à savoir, la solidité à la lumière, l'affinité pour certaines fibres, etc. . . . Mais si variées que puissent être les qualités que l'on exige des colorants, la question des chromophores reste au centre de tout le problème. Le groupe nitro, NO_2, est un chromophore, tout comme le fameux groupe azo, $-N=N-$, que l'on pourrait décrire comme le thème unique sur lequel est construite la plus nombreuse des familles de colorants. Ces deux exemples montrent des chromophores simples, tels que Witt les avait primitivement conçus. D'autres comportent des arrangements plus compliqués, ainsi le beau colorant rose nommé Astrophloxine



Le chromophore est entouré d'une ligne en trait interrompu.

et le composé jaune nommé dibenzopyrène quinone.



Le chromophore est entouré d'une ligne en trait interrompu.

La complexité de ces deux exemples dépasse la conception originale de Witt, mais cadre bien avec la conception moderne de la coloration.

Les produits organiques colorés sont extrêmement nombreux. Le nombre des colorants possibles doit être de l'ordre d'un million; deux ou trois mille d'entre eux possèdent des propriétés assez remarquables pour être l'objet d'un commerce courant. Le nombre des chromophores est, au contraire, relativement beaucoup plus faible. Et si certains colorants perdent leur valeur marchande ou tombent en désuétude, l'invention des chercheurs compense ce déchet. En fin de compte le nombre des colorants disponibles augmente sans cesse. On pourrait presque dire que la demande de colorants nombreux et divers va de pair avec le progrès de la civilisation. La découverte de tout nouveau colorant constitue généralement un évènement, aussi bien dans la science de la chimie organique que dans la technologie de la teinture et de l'impression. La découverte d'un chromophore nouveau est évidemment beaucoup plus rare. C'est toujours une découverte intéressante et stimulante, car elle ouvre un nouveau monde à l'exploration de la science et à l'entreprise de l'industrie.

C'est pourquoi la publication dans le *Journal of the Chemical Society*, en 1934, de la constitution des phthalocyanines, récemment découvertes, suscita un intérêt aussi attendu qu'étendu, car un chromophore nouveau se trouvait révélé.

Ce chromophore trouve sa place précise dans la conception moderne de la couleur et constitue un splendide exemple de résonance. On n'avait pas prévu l'existence des phthalocyanines, et on ne pouvait peut-être pas la prédire. Mais, maintenant que la découverte est faite et que la structure des composés est établie, il ne peut échapper à personne combien leur existence était inévitable. C'est un fait vraiment remarquable de voir les quatre constituants 'sauter', pour ainsi dire, en place, en présence d'un métal comme le cuivre, une fois la témperature de réaction atteinte.

Les phthalocyanines, purs produits de l'art chimique, ont quelque ressemblance avec deux substances importantes que l'on rencontre en abondance dans la nature. La première de celles-ci est la chlorophylle, la matière colorante verte des plantes. La seconde est l'hémine, la matière colorante rouge du sang. L'une et l'autre jouent un rôle important dans le cycle de la vie des deux règnes, animal et végétal, où elles se trouvent si largement répandues. On ne saurait prévoir si cette analogie présage l'existence, chez de futurs membres du groupe des phthalocyanines, de propriétés physiologiques importantes. On doit cependant remarquer que la chlorophylle et l'hémine sont, l'une et l'autre, des substances très sensibles que la chaleur, la lumière et même des réactifs chimiques doux détruisent aisément. Les phthalocyanines, au contraire, résistent à l'action de la lumière; elles comptent parmi les plus 'solides à la lumière' des produits colorants connus. Elles résistent si bien à la chaleur que le composé cuivrique sublime sans décomposition vers 600°. Cette propriété seule suffirait à donner aux phthalocyanines une place unique parmi les composés organiques. On peut dissoudre les phthalocyanines dans l'acide sulfurique concentré et les reprécipiter de ces solutions sans qu'elles subissent d'altération. C'est même sur cette propriété que se base la méthode de purification employée dans l'industrie. Elles sont insolubles dans l'eau et dans la plupart des solvants organiques. Leur résistance aux actions de la lumière, des solvants organiques, de la chaleur et de la plupart des acides, jointe à la beauté et à l'intensité de leur couleur, font d'elles des pigments de premier plan.

Les phthalocyanines sont douées d'une autre propriété qui les rend particulièrement propres à la fabrication des encres d'imprimerie nécessaires à l'impression en couleur par le procédé trichrome. En principe ce procédé consiste à préparer trois plaques, obtenues en photo-

graphiant successivement le tableau à reproduire à travers trois filtres colorés. Ces plaques peuvent ainsi donner des images séparées des portions jaunes, bleues et rouges du tableau à reproduire. Si l'on superpose ces trois impressions (en faisant la plus grande attention à la coïncidence géométrique), la jaune, puis la rouge, enfin la bleue, on obtient une reproduction en couleur du tableau original. Ce procédé exige beaucoup d'habileté d'une part et, d'autre part, l'emploi de produits choisis. Il est particulièrement essentiel que les encres jaune, bleue et rouge soient d'un jaune, d'un rouge et d'un bleu aussi purs que possible. Si, par exemple, le jaune se trouve être orangé, c'est-à-dire souillé de rouge, ou verdâtre, c'est-à-dire souillé de bleu, ou si le bleu vient à être violacé, c'est-à-dire souillé de rouge, ces couleurs adventices se trouveront en mauvaise place sur la reproduction et leur superposition donnera à l'image finale un aspect terne.

On possède depuis un certain temps déjà d'excellents pigments jaune et rouge pour trichromie. Mais les encres bleues existantes ne permettaient pas d'atteindre la pleine beauté que l'on peut théoriquement attendre du procédé trichrome. La découverte des phthalocyanines a supprimé le dernier défaut qui subsistait dans cette méthode de reproduction des couleurs. Le bleu Monastral (dénomination commerciale de la phthalocyanine cuivrique) est d'une couleur assez pure pour se prêter parfaitement à cet usage. Les planches comparatives de la p. 83 montrent combien les encres fabriquées avec ce pigment accroissent la clarté et les possibilités du procédé trichrome.

Les phthalocyanines se prêtent évidemment à tous les emplois des pigments ordinaires. Les deux seuls pigments bleus très solides à la lumière qui existassent jusqu'ici étaient l'outremer et le bleu de Prusse, que chacun de nous se souvient d'avoir trouvé dans les boîtes de couleurs de son enfance. Mais l'un et l'autre présentent de sérieux désavantages dont la phthalocyanine cuivrique est exempte: le bleu de Prusse est malheureusement attaqué par les alcalis et l'outremer par les acides.

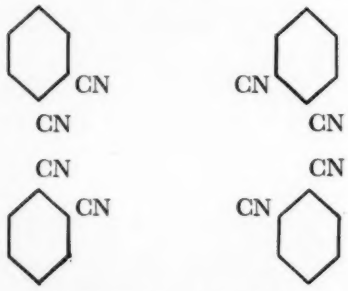
L'histoire de la découverte des phthalocyanines, celle de la patience et de l'habileté avec lesquelles a été élucidée leur structure, constitue un splendide exemple de l'heureuse union qui existe en Grande-Bretagne entre la science pure et l'industrie des matières colorantes. L'association complète et sans réserve dans l'observation et dans la recherche est récompensée par une série continue d'inventions.

La première phthalocyanine fut découverte par hasard en 1928. On observa à l'usine de Grangemouth de *Scottish Dyes Ltd.* (maintenant devenus *Imperial Chemical Industries Ltd.*) que certaines des opérations donnaient, dans la fabrication de la phthalimide, un produit légèrement coloré, impropre, par suite, à son utilisation normale. Des recherches effectuées sur place par DUNWORTH et DRESCHER montrèrent que cette anomalie tenait à la présence de traces d'une substance bleu foncé, qui semblait se former lors de la réaction de l'anhydride phthalique fondu sur l'ammoniaque. Il suffisait la cause une fois décelée de préciser les conditions d'opération de façon à éliminer l'impureté indésirable. On aurait pu s'en tenir là. Mais l'impureté avait été isolée et son examen avait révélé trop de perspectives intéressantes pour que l'on ne s'y arrêtât pas. Le produit était très stable; il était cristallisé; il contenait du fer, probablement fortement retranché dans la molécule, car il était difficile de l'éliminer par les méthodes courantes. Enfin, et c'était peut-être le plus important, cette substance était bleu foncé. Caractère suffisant, sans doute, au moins dans une usine de colorants, pour garantir qu'un pareil produit ne saurait échapper à un examen minutieux. Le fait que ce composé était à la fois coloré et insoluble dans l'eau suggérait immédiatement de l'utiliser comme pigment. Mais malgré beaucoup d'expériences et de réflexion on n'obtint aucun résultat utile. Aussi doit-on rendre hommage à ceux qui, malgré les perspectives défavorables, prirent assez d'intérêt à ce nouveau produit et eurent assez foi en lui pour en poursuivre l'étude. A l'instigation du Comité de Recherches de I.C.I. (*Dyestuffs Group*), le DR LINSTEAD, de l'*Imperial College of Science and Technology* de Londres, entreprit l'étude scientifique de ce nouveau composé. C'est à lui également que l'on doit le nom qui en évoque à la fois l'origine et l'intense couleur bleue.

Le problème de la constitution chimique des phthalocyanines fut résolu par Linstead et par ses collaborateurs, qui publièrent leurs résultats dans le *Journal of the Chemical Society* de mai 1934. On trouve alors, dans le même périodique,

jusqu'en 1939, une série de mémoires sur ces intéressants composés, parmi lesquels il faut signaler la confirmation obtenue par Robertson de leur structure à l'aide d'une étude aux rayons X. Premier de la série, le Bleu Monastral B fut jeté sur le marché en 1935. Ce coup d'œil derrière la scène montre bien quelle période de gestation, longue, mais active et peut-être inévitable, s'écoule entre la conception et la naissance, même lorsqu'il s'agit d'une découverte scientifique.

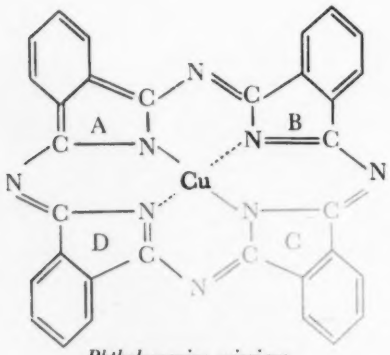
La constitution chimique des phthalocyanines peut-être décrite comme l'assemblage sans perte aucune de quatre molécules de nitrile phthalique autour d'un noyau central qui peut être formé, soit de deux atomes d'hydrogène, soit d'un atome d'un métal quelconque. Ainsi:



Quatre molécules de nitrile phthalique.

Dans cette représentation les anneaux A, B, C, D diffèrent par la répartition des 'tensions' (représentées par les doubles liaisons) et des 'non tensions'. Mais les chimistes pensent qu'une telle image ne constitue qu'un instantané, pour ainsi dire, dans une série cinématographique, et que la différence qu'elle révèle n'est pas permanente, chacun des quatre anneaux passant successivement, à rythme rapide, par toutes les structures possibles. Cette résonance entre les diverses structures rend compte, d'après les théories modernes, de la stabilité des phthalocyanines, et peut-être aussi de leur coloration. Tous les tirets qui unissent l'atome de cuivre à la structure qui l'entoure doivent être considérés comme équivalents, et le fait que l'on puisse remplacer cet atome de cuivre par deux atomes d'hydrogène sans altérer la stabilité de l'édifice est extrêmement remarquable. Une observation de ce genre pourrait bien stimuler les travaux modernes sur l'hydrogène coordonné, sujet inconcevable il y a quelques années seulement.

L'intérêt scientifique soulevé par la découverte des phthalocyanines est loin d'être épuisé. Par exemple, les dérivés métalliques, le dérivé ferreux en particulier, manifestent des propriétés catalytiques remarquables. Autre chose, tous les membres connus de cette série sont bleus ou verts; mais aucun chimiste coloriste n'admettra aisément que la découverte d'un nouveau chromophore ne lui procure, en fin de compte, qu'une palette aussi restreinte. Enfin l'on ne sait encore utiliser aucune phthalocyanine pour teindre les fibres textiles. Le travail continue donc, dans l'espoir que nous ne connaissons encore que le premier chapitre d'une longue histoire.



Phthalocyanine cuivrique.

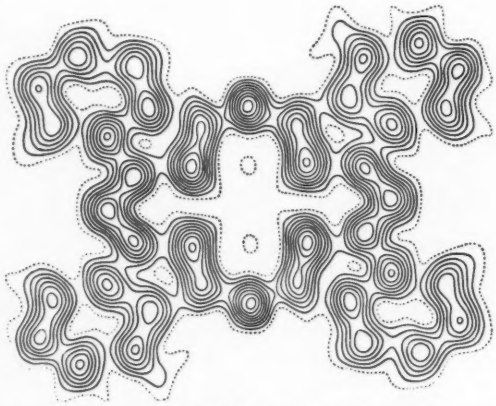


Image d'une molécule de phthalocyanine, telle que nous la révèle l'interprétation des diagrammes de rayons X.

Planches de comparaison montrant l'étendue et la clarté qu'on peut obtenir par l'emploi de l'encre d'imprimerie à base de phthalocyanine. La même série de plaques a servi pour les deux tableaux. Cependant, le graveur aurait fait, dans la pratique, des corrections pour tenir compte des inexactitudes du pigment étalon.

a) Impression trichrome faite avec l'encre à bleu Monastral.

b) Impression avec bleu trichrome étalon.

Drogues végétales de Grande-Brétagne

leur exploitation pendant la guerre

R. MELVILLE

La Grande-Bretagne importait autrefois des produits végétaux qu'on aurait pu cultiver sur son sol. La guerre a changé tout cela. Et si gênantes que puissent être certaines privations, la nécessité a du moins l'avantage de mettre en valeur nos ressources propres. Le Dr Melville étudie un de ces cas et prouve que nous pouvons dans une large mesure suffire à nos besoins en drogues végétales.

La guerre, en altérant les conditions normales de transport, affecte nos approvisionnements en marchandises de toutes sortes. Les importations de drogues, quoique considérables, ne représentent qu'une part relativement faible de notre commerce annuel, mais leur importance est hors de proportion avec leur volume, car elles sont indispensables à la santé de la nation. Bon nombre de ces drogues, originaires des régions tropicales et subtropicales, doivent nécessairement être importées; une assez forte proportion d'entre elles, venant de régions tempérées, peuvent être cultivées dans nos îles, et certaines en sont originaires. Les plantes de Grande-Bretagne, figurant dans la *Pharmacopée Britannique* parmi les drogues d'efficacité bien établie, sont très peu nombreuses. Ce sont essentiellement la belladone, la jusquiame, la digitale, le colchique et la valériane.

La plus grande partie — et de loin — de nos approvisionnements en drogues végétales indigènes était importée des régions du Continent les plus proches, alors qu'il aurait souvent suffi de se donner la peine de les récolter ici-même pour les avoir en abondance. Un exemple remarquable est celui de la racine de pissenlit, dont on emploie environ 250 tonnes par an. Tout cela avait des raisons économiques et non botaniques. Aussi serait-il possible, comme mesure de temps de guerre, d'organiser la récolte de quelques-unes des plus importantes de ces drogues et de développer la culture de quelques autres. On a déjà fait beaucoup dans ce sens. Les régions où la belladone est cultivée actuellement devraient suffire à fournir la totalité ou au moins la plus grande partie des feuilles nécessaires chaque année, mais il est probable que les racines seront encore rares pour quelque temps. La culture de la jusquiame, de la digitale et de plusieurs autres drogues a été étendue, mais on pourrait faire beaucoup plus pour les plantes à rendement plus rapide, telles que le carvi et la valériane, aussi bien que pour des drogues non indigènes telles que l'aneth, la lobélie et le psyllium. L'incertitude sur les conditions d'après guerre et la difficulté d'obtenir des plants s'opposent à ce qu'on étende trop la culture des drogues qui demandent une longue période de maturation. Le colchique et la fougère mâle ne se prêtent pas aisément à la culture à cause du faible rendement obtenu eu égard à la longueur de la période de maturation, et ces deux drogues peuvent être normalement récoltées à l'état sauvage.

Le ramassage de nos drogues végétales indigènes peut paraître à première vue quelque chose de simple, et il en serait ainsi en effet en temps de paix. En temps de guerre la récolte rencontre à chaque pas des difficultés innombrables. Il est difficile d'obtenir des moyens de transport pour les ramasseurs et pour leur récolte; il faut monter des hangars pour le séchage et pour cela on a besoin de bois de charpente et d'autres matériaux de toute première importance, ainsi que de combustible destiné à fournir la chaleur nécessaire à la dessiccation complète par temps couvert. Les restrictions de tous ces produits ont entravé le travail des organisations de volontaires s'occupant du ramassage.

Le *Therapeutic Requirements Committee* (Comité

de Thérapeutique) du *Medical Research Council* (Conseil de Recherches Médicales) a publié une liste de vingt-six drogues dont il recommande d'accroître la production dans le Royaume-Uni. Les plantes indigènes ne sont pas toutes assez abondantes pour valoir la peine d'être récoltées. Pendant la dernière guerre la belladone avait été presque complètement exterminée dans des régions où elle poussait en abondance. On n'a pas encouragé son renouvellement à cause du danger d'empoisonnement pour les animaux domestiques, aussi reste-t-il peu de régions où elle peut être récoltée. On rencontre rarement la jusquiame; les formes sauvages de l'*Anthemis nobilis* et du fenouil ne sont pas celles qui sont utilisées en médicine. La valériane pousse de façon dispersée et par conséquent est difficile à récolter en quantité suffisante; on la cultive sur une petite échelle et sa culture devrait être intensifiée. Par contre, le colchique est abondant par places en terrain calcaire en Somerset, Gloucester et Hereford, et dans certains comtés voisins. On y récolte des quantités considérables de bulbes et de graines. Le colchique était autrefois beaucoup plus répandu et abondant, mais le Ministère de l'Agriculture a fait une campagne contre cette plante qu'il jugeait être une herbe nuisible, et le résultat a été sa disparition complète de nombreuses localités. Le gant de Notre-Dame, *Digitalis purpurea*, est abondant et répandu dans les terrains siliceux, y compris les couches d'argile à silex recouvrant de la craie. La principale difficulté dans le cas de cette plante est d'arriver à sécher assez rapidement les feuilles avec les moyens de fortune dont disposent les travailleurs volontaires, afin de conserver la majorité des glucosides très instables qui donnent à la drogue son activité thérapeutique. Il n'est pas possible d'utiliser les moyens de transport publics pour envoyer les feuilles fraîches jusqu'aux centres de séchage, car la dessiccation doit être commencée dans le plus bref délai. La récolte de cette drogue très importante a été loin de suffire à la demande en 1941. Les semences de digitale sont utilisées pour la préparation du glucoside digitaline, et on a déjà publié une méthode simple de récolte.

A gauche: Colchiques dans un bois des Cotswolds (Colchicum autumnale).

A droite: Digitale sur un sol de calcaire à silex (Digitalis purpurea).

Le pissenlit (*Taraxacum*) est une herbe très commune et sa racine continue à être utilisée en grandes quantités, bien que sa valeur soit contestée par quelques autorités. La préparation de la chlorophylle nécessite une grande quantité d'une autre mauvaise herbe très commune, l'ortie brûlante; car il est plus facile d'extraire ce pigment de l'ortie que de toute autre plante, et il est alors d'une plus belle couleur. L'occasion s'offre ici de s'emparer d'un marché Américain très important — qui était auparavant presque uniquement dans les mains des Allemands — ce qui aurait l'avantage de rapporter des dollars.

La possibilité de préparer, à partir des algues indigènes, une substance capable de remplacer l'agar-agar présente un intérêt des plus immédiats. Le carragaheen, *Chrondrus crispus*, fournit un mucilage très employé comme émulsifiant. A partir de celui-ci on peut préparer une substance analogue à l'agar-agar, propre à de nombreux besoins industriels, mais inutilisable pour la préparation des milieux de culture bactériologiques. On a fait l'essai d'une grande variété d'algues, mais seules les algues rouges *Gelidium* et *Ahnfeldtia* ont fourni des géloses utilisables en bactériologie. Une étude écologique est en cours pour déterminer s'il est possible d'obtenir le long de nos côtes des approvisionnements suffisants.

Revue des livres

COSMOLOGIE POUR LE GRAND PUBLIC

The Birth and Death of the Sun, *par George Gamow. xiv* + 238 *pp. Macmillan et Compagnie Limited, éditeurs, Londres.* 1941. *Prix* 12*s.* 6*d.*

Il n'est pas difficile de comprendre pourquoi les gens cultivés sont en majorité attirés de façon toute particulière, pour peu qu'ils s'intéressent à la science, par les problèmes cosmologiques. Ces problèmes rencontrent en bien des points la philosophie générale de la vie et bien que, chez la plupart des hommes, le besoin de s'enquérir de la nature intime des choses ne se manifeste que de façon intermittente, chacun, à un moment ou à un autre, 'a faiblement secoué de sa main le rameau de la vérité'. LE PROFESSEUR GAMOW nous offre, des idées scientifiques modernes sur la naissance et la mort du Soleil, sur l'évolution stellaire et sur l'énergie intra-atomique, un exposé qui compter a parmi les meilleurs de sa catégorie. Si Jeans et Gamow voisinent dans notre bibliothèque, ce seront de bons voisins. Cependant, nous ne sommes pas convaincus que l'objet que représente la figure 7 du livre, et que le professeur Gamow décrit comme 'une ancienne batterie électrique perse, probablement du premier siècle avant notre ère', ait le moindre droit authentique à ce titre.

LES BASES DE LA THÉORIE THERMODYNAMIQUE

The Nature of Thermodynamics, *par le professeur P. W. Bridgman. Pp. xii* + 229. *Oxford University Press, éditeurs, Londres* (*Harvard University Press*). 1941. 20*s. net.*

Le PROFESSEUR BRIDGMAN a déjà traité de la logique des sciences physiques et des applications particulières à la thermodynamique, de sorte qu'il est particulièrement bien qualifié pour entreprendre l'analyse des fondements thermodyamiques. Sa perspective a été évidemment influencée par l'analyse profonde de la physique qui a été faite pendant ces dix dernières années par le développement de la nouvelle mécanique. Presque toutes les discussions de cette nature finissent par confirmer que la méthode habituellement employée est correcte; ainsi leur rôle se borne à donner des fondations solides à un édifice qu'elles ne modifient pas. Si l'ouvrage de professeur Bridgman se distingue de la plupart des autres, c'est qu'il propose définitivement la possibilité d'ajouter une nouvelle aile à l'édifice et montre la voie dans laquelle les expérimentateurs pourront chercher de nouveaux phénomènes. Tout au long de la discussion il distingue soigneusement entre les expériences réelles, les expériences possibles et le travail sur le papier; il insiste sur l'influence du langage sur la pensée même.

Dans le premier des quatre chapitres l'auteur examine à peu près complètement la loi de la conservation de l'énergie, sous sa forme la plus générale. L'idée de la localisation de l'énergie, et la question de savoir jusqu'à quel point un flux d'énergie est un flux de *quelque chose*, sont discutées en détail.

Le second chapitre traite de l'entropie et de la seconde loi de la thermodynamique. Dans ce domaine une nouvelle analyse s'imposait du fait du progrès moderne de la technique expérimentale qui nous permet d'observer des fluctuations statistiques dans des phénomènes comme le mouvement brownien et l''effet de grenaille'. Il ne semble plus aussi saugrenu qu'autrefois d'imaginer un mécanisme qui séparerait les molécules rapides des molécules lentes et ainsi (par le moyen d'une matière inanimée) créerait des différences de température là où il n'en existait pas. Il est bien entendu possible que quelque chose, dans la nature même des atomes et des molécules, s'oppose à une telle séparation; le signal (probablement une onde) par lequel l'atome annoncerait son arrivée pourrait réagir sur la particule précisément de manière à empêcher le mécanisme de fonctionner.

En plus de ces deux chapitres, qui constituent à peu près 4/5 du livre, se trouve une récapitulation, ainsi qu'un chapitre court mais extrêmement intéressant de 'considérations diverses.'

Ce court compte-rendu du livre ne peut que donner une idée très imparfaite de son contenu, mais ceci est de peu d'importance, car tout physicien qui porte intérêt à la rationalité de son activité se doit de lire l'original.

J. W. AWBERY

A PROPOS D'ARCHITECTURE DESERTIQUE

The Physics of Blown Sand and Desert Dunes, *par R. A. Bagnold. Pp. xx* + 265. *Methuen et Compagnie Limited, éditeurs, Londres.* 1941. 24*s. net.*

MONSIEUR CASAUBON remarquait avec regret que son jeune cousin 'n'avait guère d'inclination pour l'exploration, ni pour l'enrichissement de notre géognosie'. On ne pourrait lancer pareille accusation contre le LIEUTENANT-COLONEL BAGNOLD, qui s'est distingué en matière de voyages, et qui dans son dernier livre apporte une contribution appréciable à nos connaissances sur la physique de la surface terrestre. D'autre part il est agréable de marquer combien on apprécie le travail de quelqu'un qui peut observer de près des phénomènes naturels aussi impressionants que la croissance de gigantesques dunes désertiques, et peut aussi chercher et trouver une explication à ses observations par des expériences de laboratoire simples, ingénieuses et soigneusement contrôlées.

En vérité les phénomènes que l'auteur décrit sont des plus impressionants par leur ampleur et leur régularité. Pour ceux d'entre nous qui ne connaissent les dunes de sable que par celles de notre propre côte, il y a quelque chose de terrifiant dans la description de 'vastes accumulations de sable pesant des millions de tonnes' et se déplaçant 'inexorablement en formation régulière sur la surface d'un pays, croissant, gardant leur forme, et même se reproduisant d'une manière qui, par sa grotesque imitation de la vie, est vaguement troublante pour un esprit imaginatif'.

Le problème auquel l'auteur s'attache ici est, essentiellement, celui du transport des particules d'un solide par des fluides. On s'est beaucoup occupé de ce problème, dans diverses branches de la science appliquée, mais

souvent sans l'étudier systématiquement. L'auteur signale, entre autres, l'emploi d'air soufflé pour transporter du grain et de la poussière de charbon, l'amoncellement des neiges et le transport du limon par les rivières. Dans la plupart des cas, les connaissances ont été acquises empiriquement, et le travail de l'auteur peut être considéré comme celui d'un pionnier dans un domaine difficile mais passionnant.

Le livre est divisé en trois parties. La première traite des recherches de laboratoire sur le mécanisme des mouvements du sable. L'auteur montre clairement que des particules ayant les dimensions que l'on s'accorde pour attribuer aux grains de sable, ne sont pas, contrairement à ce qu'on suppose communément, soulevées haut dans le ciel et transportées à de grandes distances lors des tempêtes de sable. Le mouvement de la plus grande partie de la masse de sable qui se déplace est confiné à une région de très faible hauteur par rapport au niveau du sol, et le sable avance par un processus discontinu — une série de sauts ou de bonds alternants avec des chocs sur la surface du sol. La seconde partie traite de la formation de sillons et de rides de sable, et la troisième partie traite de la croissance et du mouvement des dunes. Malgré les travaux de CARUS-WILSON et d'autres chercheurs, il reste beaucoup à apprendre au sujet des sables chantants, et tous les physiciens seront heureux de trouver un chapitre sur ce sujet. Il faut féliciter l'auteur de s'être attaqué à un problème difficile; son ouvrage servira de modèle aux travailleurs à venir dans ce domaine et dans les domaines voisins. Son livre peut être recommandé sans réserve à tous ceux qui désirent enrichir leur géognosie.

ALLAN FERGUSON

RÉCENTS TRAVAUX DE GÉNÉTIQUE

New Paths in Genetics, *par J. B. S. Haldane. Pp.* 206. *George Allen and Unwin Limited, éditeurs, Londres.* 1941. 7*s.* 6*d. net.*

Ce livre contient une série de conférences données par l'un des maîtres de la génétique, à l'université de Groningen (Hollande), en mars 1940. Le PROFESSEUR HALDANE a montré certaines des directions dans lesquelles la génétique s'est développée et suivant lesquelles on peut prévoir de nouveaux progrès. Le lecteur ne manquera pas d'être impressioné en apprenant comment de nouvelles méthodes, dont beaucoup ont été inventées par le professeur Haldane lui-même, ont été et sont encore créées et mises en œuvre dans la recherche génétique. Cet ouvrage contient, en grande abondance, d'intéressants et importants renseignements, souvent présentés d'un point de vue entièrement neuf, et on peut regretter qu'il ne puisse être lu que par un public plus restreint que celui qu'il mérite. Car sa terminologie technique, ses tableaux statistiques compliqués et des discussions sur les parentés entre des processus chimiques complexes, exigeraient un grand effort de quiconque ne serait pas un expert dans diverses branches de la science. Un chapitre d'introduction, comportant un bref exposé des principes fondamentaux de l'hérédité, aurait été d'une grande aide au lecteur non spécialisé en génétique.

On démontre de plusieurs façons à quel point les nouvelles méthodes sont précieuses en génétique. Il est surprenant d'apprendre que si l'analyse des causes de maintes anomalies humaines est à l'heure actuelle incomplète, des méthodes purement statistiques nous permettent d'en savoir long sur la manière dont elles sont déterminées. S'il semble au premier abord dogmatique de déclarer que: 'dans les mille prochaines années la fréquence des maladies récessives va s'accroître graduellement dans les communautés urbaines par suite de la relative restriction des croisements', c'est là pourtant la conclusion irrévocable de l'application des nouvelles méthodes statistiques. L'auteur montre qu'il y a toujours un élément d'incertitude quand les prédictions concernent un individu, mais que lorsque la génétique s'applique à des millions d'êtres, 'la probabilité devient certitude et la conjecture se transforme en prédiction exacte.'

Le livre contient certaines allusions aux rapports de la génétique et de la politique. Le lecteur trouvera peut-être que les opinions exprimées ne sont pas toujours impartiales; mais même si elles sont quelque peu marquées, il doit reconnaître que le professeur Haldane l'aura averti du danger qu'un système politique comme celui de l'Allemagne actuelle puisse invoquer un fondement scientifique pour se justifier. Le professeur Haldane montre que la forme extrême de la théorie de la supériorité raciale est erronée et qu'on n'a pas encore la preuve que le croisement des races est nécessairement nuisible. Il faut espérer que cet ouvrage contribuera à faire comprendre plus profondément beaucoup de problèmes aussi importants qu'urgents de la génétique humaine. Pour des non-généticiens il faut peut-être remarquer que le titre de l'ouvrage devrait se lire plutôt 'Quelques Voies Nouvelles en Génétique' puisque le professeur Haldane ne traite que des sujets auxquels il s'intéresse personnellement. P.C.K.

LA BIOLOGIE PAR LE CINEMA

Cine-biology, *par J. V. Durden, Mary Field et F. Percy Smith.* 128 *pp., avec de nombreuses illustrations. Penguin Books Limited, éditeurs, Harmondsworth.* 1941. *Prix* 6*d.*

Ce petit livre, qui fait partie de la collection populaire 'Pelican', mérite et obtiendra sans nul doute un grand succès. C'est un bon livre de science populaire, écrit sans prétention. Il traite des amides, des paramécies, des hydres et d'autres invertébrés, de façon à tenir en haleine l'intérêt du grand public. Ce qui attirera surtout les scientifiques qui le liront ce sont les nombreuses photographies. Belles, fascinantes même, elles sont pour la plupart empruntées aux films pédagogiques bien connus: *Les secrets de la vie*, réalisés par la Société Gaumont-British Instructional Limited. Les spécialistes seuls peuvent apprécier exactement la patience et l'adresse qu'il faut déployer pour obtenir de pareilles images. Cependant, la difficulté de la tâche peut se mesurer par un détail donné dans le livre. Il a fallu des mois pour trouver des Paramécies en conjonction, et tous les efforts déployés pour provoquer ce phénomène ont été vains. Même des biologistes de profession y ont échoué. Les plus remarquables des photographies sont peut-être celles de *Daphnia*. Mais chacune de ces illustrations vaut bien à elle seule le prix modique du livre entier.

Notes biographiques sur les collaborateurs

BERNARD A. KEEN.

Né en 1890, il a fait ses études à *University College* à Londres, où il reçut les bourses Andrews, Trouton Research, et le prix Carey Foster. Il entra à la station expérimentale de Rothamsted en 1913 pour explorer les possibilités d'application de la physique moderne aux problèmes du sol, et après avoir été mobilisé pendant la première guerre mondiale, il rejoignit son poste en 1919 et fut nommé directeur adjoint en 1923. Il est un des éditeurs du *Journal of Agricultural Science*. Il a beaucoup voyagé aux Etats-Unis, en Afrique du Sud, aux Indes et en Europe.

La station expérimentale de Rothamsted, à Harpenden, Hertfordshire, fut fondée en 1843 par J. B. Lawes (1816 à 1900). Avec J. H. Gilbert (1815 à 1901), Lawes a mis en train en Grande-Bretagne l'étude scientifique des engrais artificiels, et construit la première usine d'engrais. Le champ des expériences d'agriculture poursuivies à Rothamsted s'étendit constamment; on construisit des laboratoires, on ouvrit des champs d'expérience et on tint avec soin les statistiques. Vers la fin du XIXème siècle, ce manoir tranquille était devenu un des principaux centres de recherches agronomiques, non seulement en Grande-Bretagne, mais dans le monde entier, et en 1909 le gouvernement le reconnût officiellement et lui apporte depuis lors une aide financière. Le directeur actuel est Sir John Russell.

PROFESSEUR
E. N. da C. ANDRADE.

Né à Londres en 1887, il fit ses études au *St. Dunstan's College*, aux universités de Londres, Manchester et Heidelberg, et au laboratoire 'Cavendish' à Cambridge. Depuis 1928 il occupe la chaire 'Quain' de physique à l'université de Londres. Pendant la dernière guerre il fut officier d'artillerie en France. Il fut ensuite quelques années professeur au *Military College of Science*. Il s'intéresse à un très grand nombre de questions d'ordre différent, de l'histoire des sciences à l'art, à la poésie et à la musique. Il a formé une école florissante de physique à *University College*, où son laboratoire fut complètement détruit par un bombardement en septembre 1940. Depuis le début de la guerre actuelle il est au service du gouvernement.

F. SHERWOOD TAYLOR.

Né en 1897, élève de *Sherborne School* et de *Lincoln College*, à Oxford. Pendant une douzaine d'années, à partir de 1921, il exerça des fonctions d'enseignement. Mais il devait bientôt se faire connaître du grand public par ses exposés scientifiques. Bien qu'il admette que son but dans la vie est 'd'avoir quelque connaissance du plus grand nombre de sujets possibles' il possède une connaissance profonde de l'histoire des sciences, en particulier de l'alchimie grecque, et, de 1937 à 1939, il fut rédacteur en chef de la revue *Ambix*. Depuis 1940 il fait fonction de conservateur du Musée d'Histoire de la Science.

W. T. ASTBURY

est un spécialiste marquant de la physique des textiles. Né à Longton, près de Stoke-on-Trent, en 1898, il suivit les cours de l'école secondaire de cette ville, puis fut élève de *Jesus College*, à Cambridge. Il devint ensuite assistant de Sir William Bragg à l'*University College*, à Londres, et à la *Royal Institution*. Il fut nommé en 1928 professeur de physique des textiles à l'université de Leeds. Les brillantes recherches qu'il effectua dans cette nouvelle résidence lui valurent une médaille de l'université de Lille, la médaille d'or de la *Company of Dyers* et la médaille Warner du *Textile Institute*. C'est dans la musique qu'il recherche son principal délassement.

J. A. CROWTHER

est originaire du Yorkshire, car il naquit à Sheffield en 1883. Elève de la *Royal Grammar School* de Sheffield, puis de *St. John's College*, à Cambridge, il commença en 1912 des recherches qu'il devait poursuivre douze ans au *Cavendish Laboratory*. De 1921 à 1924 il fut professeur de physique appliquée à la radiologie médicale à l'université de Cambridge. Il abandonna ce poste en 1924 lorsqu'il fut nommé à la chaire de physique de l'université de Reading. Nombreuses et importantes sont ses contributions à la littérature des travaux originaux de physique. Cela ne l'empêche pas, en temps normal, d'apprécier les quelques moments de loisir qu'il consacre au bridge et au tennis.

C. J. T. CRONSHAW

fut élève de *Bury Grammar School* et de l'université de Manchester. Il entra ensuite dans l'industrie chimique où son instinct chimique et ses capacités d'organisateur purent se donner libre cours. Il fut élu vice président de la *Society of Chemical Industry* en 1935. Quatre ans plus tard il devenait président de la *Society of Dyers and Colourists*, et membre du conseil d'administration de sa vieille université. On lui doit de nombreux articles publiés dans des journaux industriels ou scientifiques. Il est sans rival dans la connaissance de l'industrie des matières colorantes et des pigments. Il est actuellement président du groupe des matières colorantes de la Société *Imperial Chemical Industries Limited*.

RONALD MELVILLE

est né à Bristol, mais très tôt il alla habiter à Cardiff où il étudia la pharmacie au *Welsh College of Pharmacy*. C'est là qu'il obtint les titres de M.P.S. et de Ph.D. Quittant la pharmacie il entra à l'*Imperial College of Science* en 1930 et entreprit des recherches sur la physiologie de la tomate. Il occupe son poste actuel aux *Royal Botanic Gardens* de Kew depuis 1934, et s'occupe maintenant de questions de botanique économique concernant particulièrement les plantes médicinales et le classement et l'emploi d'arbustes et d'arbres robustes.

Fabriqué et imprimé en Grande-Bretagne par THE KYNOCH PRESS, *Witton, Birmingham, 6, pour les éditeurs,*
IMPERIAL CHEMICAL INDUSTRIES LIMITED, *Londres,* S.W.1